

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIA CAROLINA CHERCHIGLIA HUERGO

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE IMPERMEABILIZAÇÃO URBANA: ESTUDO DE
CASO NO BAIRRO CENTRO CÍVICO – CURITIBA – PARANÁ

CURITIBA
2012

MARIA CAROLINA CHERCHIGLIA HUERGO

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE IMPERMEABILIZAÇÃO URBANA: ESTUDO DE
CASO NO BAIRRO CENTRO CÍVICO – CURITIBA – PARANÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de concentração Ambiente Construído, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Orientadora: Profª Dra. Cristina de Araújo Lima
Coorientador: Prof. Dr. Roberto Fendrich

CURITIBA
2012

Huergo, Maria Carolina Cherchiglia

Avaliação das condições de impermeabilização urbana: estudo de caso no Bairro Centro Cívico – Curitiba – Paraná / Maria Carolina Cherchiglia Huergo. – Curitiba, 2012.

109 f. : il.; tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil.

Orientadora: Cristina de Araújo Lima

Co-orientador: Roberto Fendrich

1. Solos -- Permeabilidade. 2. Escoamento urbano. I. Lima, Cristina de Araújo. II. Fendrich, Roberto. III. Título.

CDD 624.15136

TERMO DE APROVAÇÃO

MARIA CAROLINA CHERCHIGLIA HUERGO

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE IMPERMEABILIZAÇÃO URBANA: ESTUDO DE CASO NO BAIRRO CENTRO CÍVICO – CURITIBA – PARANÁ

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Departamento de Construção Civil, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração Ambiente Construído, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Cristina de Araújo Lima
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFPR
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR

Coorientador:

Prof. Dr. Roberto Fendrich
Departamento de Hidráulica e Saneamento, UFPR
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR

Examinadores:

Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFPR
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR

Prof. Dr. Paulo Rolando de Lima
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR

Curitiba, 30 de março de 2012

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Cristina de Araújo Lima e ao meu coorientador Prof. Dr. Roberto Fendrich pela orientação, dedicação e pelo conhecimento compartilhado. Eu serei eternamente grata.

Ao Prof. Dr. Hideo Araki, por suas colaborações à pesquisa.

À Universidade Federal do Paraná e ao PPGCC por possibilitar o desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores do PPGCC, pelo incentivo e apoio.

À Ziza, secretária do PPGCC, pelo carinho e atenção.

A CAPES, pela concessão de uma bolsa de pesquisa.

Aos colegas de mestrado, pela parceria construída durante esses anos. Em especial às minhas amigas Gisele, Silvia, Renata, Cris, Martina e Susan.

Aos colegas e professores integrantes do LAHURB, pela amizade e espaço concedido. Em especial aos professores Antonio, Cristina, Gislene, Madianita e Joslene. Aos colegas Gustavo, Nádia e Elena.

Aos amigos, por todos os momentos divertidos.

À minha família, pelo amor e carinho que sempre estiveram presentes em toda minha vida. Aos meus pais e companheiros Liziani e William, Joubert e Rosana. Ao meu querido irmão Victor, pela paciência, amizade e momentos de descontração. Ao meu tio Jair e minha avó Maria, pelo privilégio de passar pelas suas vidas.

Um agradecimento muito especial ao meu marido Luciano, por todo amor dedicado à família, pelo companheirismo e por me fazer uma pessoa muito feliz. Ao meu filho Luca, por tornar cada dia melhor.

Enfim, a Deus que ilumina nossos passos.

RESUMO

A expansão da ocupação urbana tem sido um dos fatores para que haja o aumento das áreas impermeáveis dos solos e dos problemas relacionados ao escoamento natural da água pluvial. As superfícies impermeáveis têm sido reconhecidas como indicadoras na avaliação dos ambientes urbanos. No entanto, o controle do aumento destas superfícies ainda é um desafio para a gestão urbana. O objetivo desse trabalho consiste em avaliar a impermeabilização dos lotes no bairro Centro Cívico, inserido na bacia hidrográfica do rio Belém no município de Curitiba/PR, considerando a taxa de permeabilidade de 25% apresentada na legislação municipal. O estudo partiu da premissa de que o aumento das áreas impermeáveis está intimamente relacionado com o aumento do escoamento superficial das águas pluviais, o que pode resultar no desencadeamento de enchentes nos vales receptores a jusante. Os resultados obtidos demonstraram que dos 36 quarteirões avaliados, 11 deles extrapolaram a taxa prevista na legislação e que em 2020 será atingida a impermeabilização máxima dos lotes do bairro. Este acréscimo tem causado o aumento nos picos das vazões originadas no Centro Cívico. Fica evidenciada a necessidade da implantação de estratégias mais eficientes de gestão da ocupação dos lotes urbanos na área de estudo notadamente da proporção de solo impermeabilizada. Entende-se que há necessidade de aprofundamento nos estudos das condições ambientais urbanas, de planejamento e em especial em instrumentos de gestão, monitoramento e controle da ocupação. Em paralelo, se salienta a importância do papel dos atores sociais que produzem o espaço urbano. As investigações relacionadas à conservação das áreas permeáveis nas cidades podem demonstrar soluções na diminuição de danos materiais e imateriais; fomentar a implementação mais frequente de soluções já conhecidas de planejamento socioambiental e da Engenharia Sanitária, e um maior equilíbrio na relação entre ambiente natural com o ambiente construído, em busca do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Urbanismo. Taxa de permeabilidade. Meio ambiente urbano. Impermeabilização dos solos. Escoamento superficial. Curitiba. Bairro Centro Cívico.

ABSTRACT

The expansion of urban settlements has been one of the factors that increases the impervious areas of land and, consequently, problems related to the natural drainage of rainwater. The impervious surfaces have been recognized as indicators in the evaluation of urban environments. However, the control of these surfaces is still a challenge for urban management. The aim of this study is to evaluate the impermeous surface of the sites in the Centro Cívico neighborhood, located on the Belém river basin in the city of Curitiba, state of Paraná, considering the rate of permeability of 25% presented in municipal legislation. The study started from the premise that the increase in impervious areas is closely related to the increased runoff of rainwater, which can result in floods in the downstream receivers. The results showed that the 36 blocks evaluated, 11 of them surpassed the rate provided in the legislation and will be noted the maximum sites impermeabilization in 2020. This has caused the increase in peak flow rates originated in the Centro Cívico neighborhood. The results showed a need to implement more efficient management strategies in the occupation of urban sites in the study area notably the proportion of impervious surface. It is understood that there is need in studies of environmental conditions, urban planning and in particular management tools, monitoring and control of the occupation. In parallel, the importance of the role of social actors that produce urban space. Investigations related to the conservation of the permeable areas and the tendency of increasing impervious areas in cities, can contribute in reducing the damage caused by a lack of implementation solutions already known to social, environmental and sanitary engineering planning, and maximize the relationship with the natural and built environment, contributing towards a sustainable development.

Key words: Urbanism. Permeability rate. Urban environment. Impermeabilization of soil. Surface runoff. Curitiba. Centro Cívico neighborhood.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 1.1	- ESTRUTURA DO TRABALHO.....	06
FIGURA 2.1	- VARIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL COM O AUMENTO DA SUPERFÍCIE IMPERMEÁVEL.....	09
QUADRO 2.1	- IMPACTOS CAUSADOS PELO AUMENTO DAS SUPERFÍCIES IMPERMEÁVEIS.....	10
FIGURA 2.2	- PRODUTO DA MONORESTITUIÇÃO.....	14
FIGURA 2.3	- PRODUTO DA CLASSIFICAÇÃO.....	14
FIGURA 2.4	- SEGMENTAÇÃO DA IMAGEM E DETECÇÃO DE BORDAS - SOFTWARE EDISON.....	17
FIGURA 2.5	- SEGMENTAÇÃO <i>MEAN-SHIF</i>	17
FIGURA 2.6	- CLASSIFICAÇÃO DO <i>PIXEL</i> PELO MÉTODO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA.....	18
QUADRO 2.2	- PROCESSOS E MEDIDAS PARA REDUÇÃO E RETARDAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO.....	22
FIGURA 2.7	- PAVIMENTOS PERMEÁVEIS SIMULADOS NO IPH/UFRGS.....	25
FIGURA 2.8	- RAIN GARDEN, OHIO (E.U.A.).....	26
FIGURA 2.9	- PLANTER BOX, SUÉCIA, 2007.....	27
FIGURA 2.10	- TELHADO VERDE DO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFR, CURITIBA.....	28
FIGURA 2.11	- MAPA DE ÁREA DE VUNERABILIDADE ÀS ENCHENTES....	31
FIGURA 2.12	- ADENSAMENTO POPULACIONAL COMO FATOR DE AGRAVAMENTO DE ENCHENTES, 1998-2000.....	33
FIGURA 3.1	- FLUXOGRAMA DA PESQUISA.....	37
QUADRO 3.1	- CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MÉTODOS PARA CÁLCULO DE VAZÃO.....	44
FIGURA 4.1	- LOCALIZAÇÃO DE CURITIBA E NUC NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.....	52
FIGURA 4.2	- EVOLUÇÃO DO ZONEAMENTO NOS INSTRUMENTOS LEGAIS DE CURITIBA.....	55
QUADRO 4.1	- CARACTERÍSTICAS DE PERMEABILIDADE EXIGIDA PELA PORTARIA SMU Nº 24/2002.....	57
QUADRO 4.2	- MAPEAMENTO DAS ZONAS E SETORES COM O PERCENTUAL DE PERMEABILIDADE EXIGIDO NA LEI 9.800/2000 – DESTAQUE PARA O BAIRRO CENTRO	58

	CÍVICO, ESTUDO DE CASO.....	
FIGURA 4.3	- TAXA DE PERMEABILIDADE EXIGIDA PARA LOTE URBANO NA GUIA AMARELA – VISTA PARCIAL DA GUIA AMARELA.....	60
FIGURA 4.4	- ENCHENTE DE 21/02/1999 NA RUA DAS FLORES EM CURITIBA – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVO.....	62
FIGURA 4.5	- BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM NO MUNICÍPIO DE CURITIBA.....	65
FIGURA 4.6	- COMPARTIMENTAÇÃO LITOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DO RIO BELÉM.....	70
FIGURA 4.7	- CENTRO CÍVICO, AVENIDA CÂNDIDO DE ABREU	72
FIGURA 4.8	- CENTRO CÍVICO, PALÁCIO DO GOVERNO ESTADUAL.....	72
FIGURA 4.9	- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO CENTRO CÍVICO NO MUNICÍPIO DE CURITIBA.....	74
FIGURA 4.10	- DENSIDADES DE OCUPAÇÃO SEGUNDO O PLANO DIRETOR MUNICIPAL (2004).....	75
FIGURA 4.11	- CURITIBA – LOCALIZAÇÃO DO PONTO CRÍTICO DE ENCHENTE NO BAIRRO CENTRO CÍVICO.....	77
FIGURA 4.12	- MAPA DE ÁREAS PERMEÁVEIS E IMPERMEÁVEIS DO BAIRRO CENTRO CÍVICO, 2007.....	79
FIGURA 4.13	- CURITIBA – LOCALIZAÇÃO DOS QUARTEIRÕES DO BAIRRO CENTRO CÍVICO.....	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	- IMPACTO DA URBANIZAÇÃO.....	12
TABELA 2.2	- CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DOS PAVIMENTOS.....	23
TABELA 4.1	- EVOLUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DOS SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM ($A = 88 \text{ KM}^2$).....	67
TABELA 4.2	- EFEITO DA DETENÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DO RIO BELÉM ($A = 42 \text{ KM}^2$).....	68
TABELA 4.3	- ÁREA IMPERMEÁVEL DOS LOTES DOS QUARTEIRÕES DO BAIRRO CENTRO CÍVICO (2007).....	83
TABELA 4.4	- PROJEÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO MÁXIMA DOS LOTES DO BAIRRO CENTRO CÍVICO.....	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	01
1.1 PRESSUPOSTO.....	03
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	03
1.3 OBJETIVO.....	04
1.4 JUSTIFICATIVA.....	04
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	05
2 AVALIAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DOS SOLOS NO CONTEXTO URBANO.....	07
2.1 OCUPAÇÃO URBANA ATRAVÉS DA ANÁLISE DAS ÁREAS IMPERMEÁVEIS DOS SOLOS.....	07
2.1.1 Avaliação dos impactos da impermeabilização dos solos no balanço hídrico da superfície.....	08
2.2 CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS IMPERMEÁVEIS POR SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO POR CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.....	16
2.2.1 <i>Edge Detection and Image Segmentation</i> (EDISON).....	16
2.2.2 Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança – MultiSpec software.....	18
2.3 O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E MECANISMOS DE MITIGAÇÃO.....	19
2.3.1 Conceito de escoamento superficial.....	19
2.3.2 Medidas mitigadoras do escoamento superficial.....	20
2.4 ENCHENTES URBANAS.....	29
2.4.1 Aspectos da situação ambiental crítica de enchentes.....	30
3 MÉTODO DE PESQUISA.....	35
3.1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO ADOTADO.....	35
3.2 UNIDADE DE ANÁLISE.....	36
3.3 ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	36
3.4 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	37
3.4.1 Critérios para seleção da porção urbana onde foi realizado o estudo de caso.....	37
3.5 COLETA DE DADOS E INFORMAÇÕES.....	39
3.5.1 Etapa 1: Análise da Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo de Curitiba (Lei nº 9.800/2000).....	39
3.5.2 Coleta de bases cartográficas digitais do recorte espacial selecionado.....	40
3.5.3 Etapa 2: Mapeamento das áreas permeáveis e impermeáveis.....	41

3.5.4 Etapa 3: Definição do incremento médio anual.....	43
3.5.4.1 Definição do método hidrológico.....	44
3.5.5 Etapa 4: Projeção da impermeabilização máxima dos lotes.....	46
3.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	46
3.7 ESTRATÉGIAS DE VALIDAÇÃO.....	47
4 ESTUDO DE CASO: DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO NO BAIRRO CENTRO CÍVICO.....	50
4.1 ASPECTOS DA CIDADE DE CURITIBA.....	51
4.1.1 Considerações sobre o planejamento urbano de Curitiba.....	53
4.1.2 O zoneamento urbano: Lei de zoneamento de Curitiba.....	54
4.1.3 A taxa de permeabilidade do solo.....	56
4.1.4 Decreto de Contenção de Cheias de Curitiba (Decreto nº 176/2007).....	61
4.1.5 Enchentes urbanas em Curitiba.....	62
4.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM.....	63
4.2.1 Características do solo da bacia hidrográfica do Rio Belém para fins da temática em pauta.....	69
4.3 ESTUDO DE CASO: BAIRRO CENTRO CÍVICO.....	71
4.4 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.....	78
4.4.1 IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO OBTIDA POR SENSORIAMENTO REMOTO.....	78
4.4.1.1 Mapeamento das áreas permeáveis e impermeáveis.....	78
4.4.1.2 Incremento nas vazões do bairro Centro Cívico pelo aumento das taxas de impermeabilização dos solos na área de drenagem.....	84
4.4.1.3 Vazões geradas no bairro Centro Cívico (1988-2020).....	84
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	90
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	93
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96
REFERÊNCIAS.....	98
GLOSSÁRIO.....	104
ANEXOS.....	105

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das cidades do Planeta têm estado em um processo contínuo de renovação e transformação urbana, ambiental e social ao longo dos séculos. Depois da metade do século XVIII, a revolução industrial e suas conseqüências sobre o ambiente construído influenciaram a ordem das cidades e do território, mudando o curso dos acontecimentos, a princípio na Inglaterra e mais tarde em todo o resto do mundo (BENEVOLO, 2007). O planejamento urbano nas cidades européias, especialmente as inglesas, já no século XIX, foi proposto como alternativa pública de solução aos problemas urbanos decorrentes da industrialização e do crescimento demográfico, em particular aqueles relacionados à miséria, à poluição e à segregação socioespacial (CARVALHO, 2009). No início do século XXI, a população mundial que era de 6,1 bilhões de pessoas, deverá chegar a 9,3 bilhões em 2050. O crescimento deverá ocorrer, principalmente, nos países em desenvolvimento que concentrarão, em 2050, 85% da população mundial (IBGE, 2011).

A ação do homem no planejamento e desenvolvimento da ocupação do espaço na Terra requer uma visão ampla sobre as necessidades da população, os recursos naturais disponíveis, além do conhecimento sobre o comportamento dos processos específicos na bacia hidrográfica para, racionalmente, compatibilizar necessidades crescentes com recursos limitados (TUCCI, 2009).

Diante das transformações dos ambientes urbanos, a necessidade de manter o equilíbrio ecológico no funcionamento dos mesmos leva à conservação dos recursos naturais ainda existentes, visando minimizar os impactos que se instauram na malha urbana. Dentre esses impactos, está a impermeabilização dos solos em virtude da urbanização.

De modo geral, a urbanização impõe às bacias hidrográficas altas taxas de impermeabilização dos seus solos. As conseqüências são o aumento significativo dos níveis máximos das enchentes urbanas nos rios, córregos e canais, devido às chuvas intensas e a diminuição da taxa de infiltração, acarretando problemas de subsidência e na recarga dos aquíferos da água subterrânea (FENDRICH, 2009). A impermeabilização dos solos associada à urbanização altera o ciclo natural da água.

O aumento do escoamento superficial associado ao desenvolvimento é o primeiro sinal visível da alteração do ciclo da água, que é um dos primeiros fatores para deslançar outros problemas como o aumento das enchentes urbanas e danos ecológicos (CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, s/d).

Em países como Estados Unidos da América, Japão, Tailândia e Austrália ocorreram modificações no ambiente hídrico durante o processo de urbanização que afetaram a qualidade da água e os índices de escoamento superficial (SCHUELER, 1994; YOSHIKOSHI *et al.*, 2008; FENDRICH, 2009; AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2011).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (1997), estabelece como diretrizes de ação a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo. Em vários estados, tais como São Paulo, Santa Catarina e Acre, a impermeabilização dos solos em decorrência da urbanização aliada à falta de planejamento urbano, estão associadas aos índices cada vez maiores de enchentes (STEVANUX *et al.*, 2010). Em Lavras (MG), Londrina (PR) e Curitiba (PR) estudos associados a políticas públicas pretendem diagnosticar deficiências em busca da conservação da qualidade do meio urbano (CENTENO *et al.*, 2001; FURTINI, FERREIRA E SAMPAIO, 2009; GONÇALVES, POLIDORO E SILVA, 2009; FENDRICH, 2010).

A impermeabilização do solo urbano em Curitiba, resultante das edificações e pavimentações, causa impactos diretos no sistema drenante, acarretando por parte do Poder Público, investimentos cumulativos no sistema a jusante (DECRETO-LEI 176/2007).

O estudo de caso foi realizado no bairro do Centro Cívico, inserido na bacia hidrográfica urbana do rio Belém, localizada integralmente no município de Curitiba. O bairro está inserido em uma bacia totalmente urbanizada e que apresenta as maiores densidades demográficas do município de Curitiba e, inclusive, da Região Metropolitana de Curitiba (SUDERHSA, 2002; IPPUC, 2010). O incremento das áreas impermeáveis em decorrência da urbanização aponta que em 2020, tanto a Bacia Hidrográfica do Rio Belém, como o bairro chegarão às suas taxas máximas de impermeabilização dos solos (FENDRICH, 2002).

As ferramentas utilizadas para a execução deste trabalho foram análises de imagens digitais e de dados do local de estudo, bem como levantamentos feitos

através de técnicas de geoprocessamento. Além disso, a aplicação de um método hidrológico para que fosse concluído o propósito do trabalho.

Diante do contexto apresentado, pretende-se elaborar um diagnóstico da evolução da impermeabilização dos solos para os lotes do bairro Centro Cívico, buscando fornecer subsídios para a aplicação de ações que equilibrem as condições de sustentabilidade na Bacia Hidrográfica Urbana do Rio Belém. Para tanto, se partiu de um pressuposto.

1.1 PRESSUPOSTO

Este trabalho parte do pressuposto de que a tendência de aumento das superfícies impermeáveis, provocada pela ocupação urbana, mostra a necessidade de aprimoramento dos instrumentos de gestão que controlam a ocupação do solo, visando desacelerar o processo de impermeabilização das cidades. A proporção de solo impermeabilizado não respeita, atualmente, o mínimo exigido pela legislação municipal de Curitiba.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O processo de urbanização tende a aumentar a impermeabilização dos solos. A impermeabilização prejudica a infiltração, a recarga dos aquíferos subterrâneos e provoca o aumento do escoamento superficial, podendo contribuir na ocorrência de enchentes nos vales receptores a jusante. Como se apresenta a impermeabilização dos solos nos lotes do bairro Centro Cívico, na cidade de Curitiba?

1.3 OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo de avaliar a impermeabilização do solo urbano dos lotes de um bairro da cidade de Curitiba, considerando a taxa de permeabilidade como mecanismo legal do município, Lei nº 9.800/2000, do Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo, que visa controlar o equilíbrio da qualidade do ambiente construído.

As etapas para o desenvolvimento do trabalho consistiram em:

- a) Analisar o aumento das vazões superficiais ocasionadas pela expansão da urbanização no bairro Centro Cívico, no período entre 1988 e 1999, e apresentar a projeção para o ano de 2020;
- b) Apresentar a projeção da impermeabilização máxima para o ano de 2020, considerando a taxa de permeabilidade exigida pela legislação e a impermeabilização dos solos pela ocupação dos lotes no bairro, no período entre 1988 e 2010;
- c) Contextualizar os resultados encontrados no item b, com a taxa de permeabilidade de 25% imposta pela legislação municipal.

1.4 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho parte da abordagem do urbanismo para o ordenamento territorial e visa fundamentar e contribuir na discussão sobre a impermeabilização dos solos. Os estudos sobre o tema podem subsidiar projetos relacionados à atenuação de enchentes e propagação da poluição difusa, na melhoria do planejamento da ocupação urbana das cidades (RIBEIRO, 2006), e na necessidade de revisão de parâmetros técnicos de planejamento e ocupação do solo.

A síndrome do asfalto/concreto afeta a saúde humana e os ecossistemas. Nos verões de Tóquio, os aparelhos de ar condicionado se tornaram indispensáveis e o seu uso excessivo causa problemas ao processo fisiológico normal. O número de crianças com a saúde afetada pelas variações de temperatura do corpo aumentou consideravelmente. A impermeabilização pelo asfalto/concreto também impede a infiltração das águas pluviais, assim os lençóis subterrâneos não podem

ser reabastecidos e acabam se esgotando. Por conseguinte, a superfície do solo seca (FENDRICH, 2009).

No Brasil, anualmente, nos períodos de chuva de verão, chega a centenas o número de casos de leptospirose associados às inundações na cidade de São Paulo. A taxa de mortalidade, por sua vez, atinge cerca de 20% dos casos (CANHOLI, 2005). Segundo a Illinois Environmental Protection Agency (1998) ao alcançar o solo, as gotas de chuva carregam consigo lixo, óleo, graxas, metais sujeira, fertilizantes, pesticidas, resíduos de animais, etc. Cerca de 65% das internações hospitalares no Brasil se devem a doenças de veiculação hídrica (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

As doenças e o comprometimento de moradias provocadas pelas enchentes afetam os cidadãos e aumentam a demanda por serviços públicos de atendimento à população e resultam em um revés nas contas municipais. Em 2010, foi discutida por ministros e governadores brasileiros a reconstrução econômica dos municípios atingidos por enchentes, com a liberação de empréstimos para os pequenos e médios empresários como forma de garantir a retomada da economia local, além da reconstrução da parte física, incluindo escolas e equipamentos públicos e a construção de 5 mil novas casas em áreas definidas pelos governos estaduais (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010).

De acordo com Maus, Righes e Buriol (2007), a impermeabilização dos lotes urbanos tem causado altos picos de vazão e, conseqüentemente, uma frequência cada vez maior de enchentes. A tendência de aumento das áreas impermeáveis prejudica o meio urbano à medida que impõe ao ser humano problemas que afetam sua sobrevivência.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo que o QUADRO 1.1 apresenta uma síntese gráfica do conteúdo.

QUADRO 1.1 – ESTRUTURA DO TRABALHO

Estrutura	Capítulo I	O que deve ser analisado?	Introdução	Por quê?	Apresenta um panorama da temática a ser analisada, seguida da problematização, pressuposto, objetivo e justificativa. Tem o objetivo de expor o assunto de forma clara.
	Capítulo II		Revisão bibliográfica		Tem objetivo de levantar informações já pesquisadas por outros autores em relação ao assunto, servindo como um referencial.
	Capítulo III		Metodologia		Foi definido o método mais adequado (Estudo de caso), baseado nas bibliografias dos autores em Gil, Robson e Yin.
	Capítulo IV		Estudo de caso		Visa analisar no recorte de estudo como as taxas de impermeabilização dos solos se correlacionam com o aumento nos picos de vazões e, como os aspectos legais envolvidos podem contribuir para melhoria da relação entre o ambiente natural e o ambiente construído.
	Capítulo V		Análise dos resultados		A sistematização dos dados coletados contribuiu para a concretização dos objetivos
	Capítulo VI		Conclusões e recomendação		Faz referências às considerações finais do trabalho, com conclusões e recomendações

NOTA: Baseada nas discussões sobre metodologia apresentadas por Yin (2001) e notas de aula (SCHMID 2010; TAVARES, 2010).

2 AVALIAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DOS SOLOS NO CONTEXTO URBANO

De modo geral, a urbanização impõe às bacias hidrográficas altas taxas de impermeabilização dos seus solos. As consequências são o aumento significativo dos níveis máximos das enchentes urbanas nos rios, córregos e canais, devido às chuvas intensas e a diminuição da infiltração, acarretando problemas de subsidência e na recarga dos aquíferos de água subterrânea (FENDRICH, 2009). A bacia urbana possui superfícies impermeáveis, tais como telhados, ruas e pisos, que produzem aceleração no escoamento através da canalização e da drenagem superficial. O resultado da urbanização quanto ao escoamento é o aumento da vazão máxima e do escoamento superficial, que produzem um aumento da frequência de enchentes (TUCCI, 2009). Sendo assim, a impermeabilização dos solos é um dos fatores do ambiente urbano a ser analisado.

2.1 OCUPAÇÃO URBANA ATRAVÉS DA ANÁLISE DAS ÁREAS IMPERMEÁVEIS DOS SOLOS

Nas cidades em geral, os espaços retirados pela urbanização, antes destinados ao armazenamento natural das águas, foram substituídos por novas áreas inundáveis a jusante. Acresce-se a essa situação a prática das canalizações, muitas vezes radicais, que aceleram os escoamentos dos rios e córregos (CANHOLI, 2005). À medida que a cidade se urbaniza, tendem a ocorrer os seguintes impactos:

- a) Aumento da produção de sedimentos pela falta de proteção das superfícies e pela produção de resíduos sólidos (lixo);
- b) a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, em razão de lavagem das ruas, transporte de material sólido e de ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial;
- c) quando a implantação das redes de infraestrutura urbana carecem de melhor organização, ocorrem impactos tais como: (a) pontes e taludes de estradas

que obstruem o escoamento; (b) redução de seção do escoamento por aterros de pontes e das construções em geral; (c) deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixo e sedimentos; (d) projetos e obras de drenagem inadequadas, com diâmetros que diminuem a jusante, entre outros;

- d) entre os impactos está o aumento das vazões máximas e da sua frequência, em virtude do aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies (TUCCI, 2008).

Os impactos em virtude da impermeabilização influenciam no balanço hídrico local, como será tratado no item 2.1.1.

2.1.1 Avaliação dos impactos da impermeabilização dos solos no balanço hídrico da superfície

Schueler (1994) classifica área impermeável como a soma das vias, estacionamentos, calçadas, telhados e outras superfícies impermeáveis do cenário urbano. Estas superfícies reduzem a infiltração e a filtragem de impurezas. A impermeabilização dos solos diminui o tempo de concentração de bacia hidrográfica, ou o tempo de escoamento, e reduz o tempo disponível para a água infiltrar (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL RESOURCES, PRINCE GEORGE'S COUNTY MARYLAND, E.U.A, 1999). A quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável (TUCCI & ORSINI, 2005) (FIGURA 2.1).

A FIGURA 2.1 mostra que quanto maior é a área impermeável, maior é o escoamento superficial e menor é a evapotranspiração. Além disso, a recarga dos aquíferos, pela infiltração profunda, também é comprometida pelo aumento das superfícies impermeáveis.

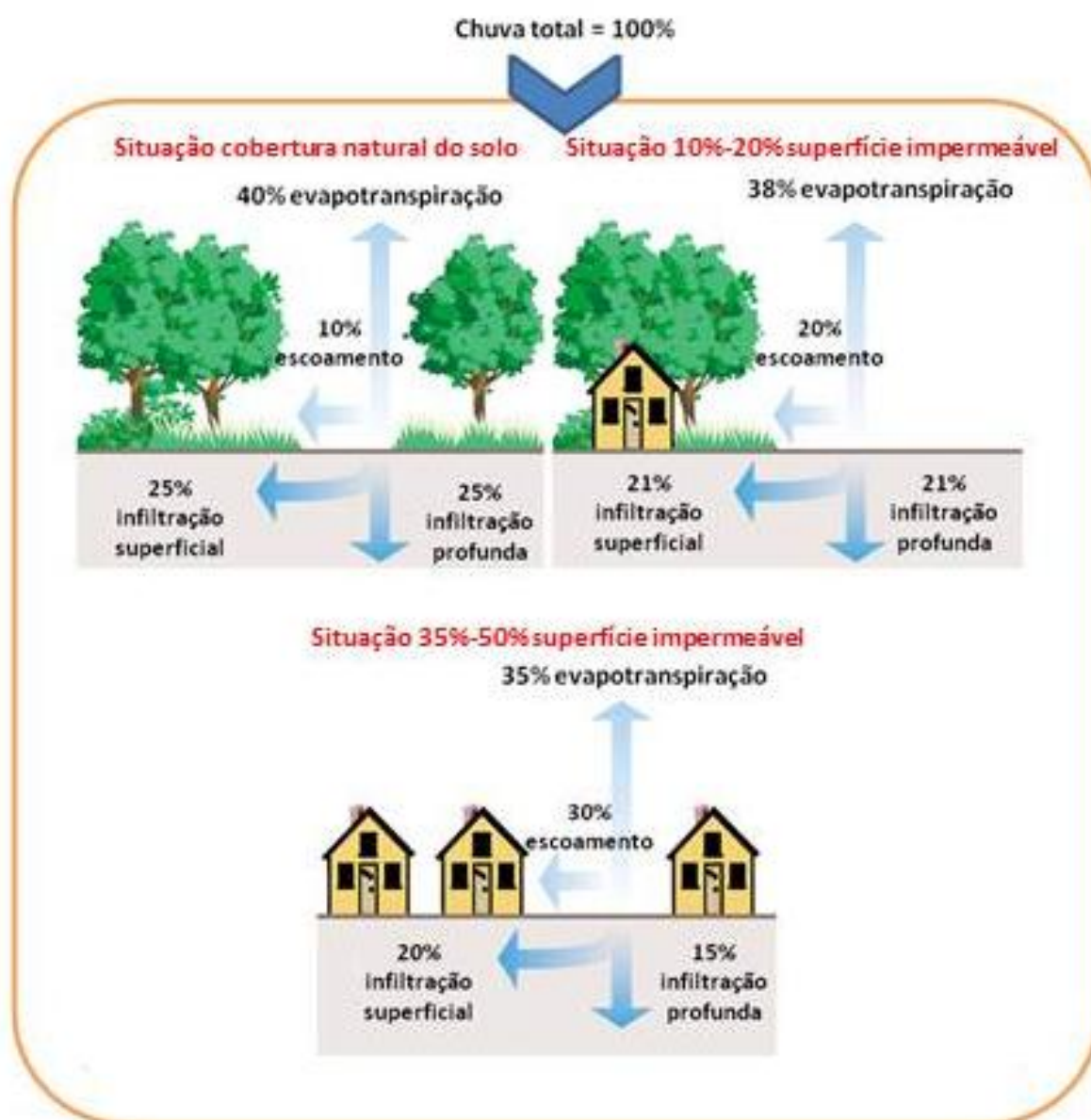


FIGURA 2.1 – VARIAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL COM O AUMENTO DA SUPERFÍCIE IMPERMEÁVEL

FONTE: FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP (FISRWG), 1999.

NOTA: Apresentada pelo Department of Environmental Resources Prince George's County, Maryland (1999). Traduzida pela autora (2011)

Os impactos da impermeabilização na superfície são provenientes de situações como as apontadas pela United States Environmental Protection Agency (2011) conforme o QUADRO 2.1.

QUADRO 2.1 – IMPACTOS CAUSADOS PELO AUMENTO DAS SUPERFÍCIES IMPERMEÁVEIS

O aumento da impermeabilização leva a:	Impactos resultantes				
	Enchentes	Perda do habitat natural	Erosão	Ampliação do canal	Alteração do leito
Aumento de volume das águas pluviais	X	X	X	X	X
Aumento da vazão	X	X	X	X	X
Aumento da duração da vazão		X	X	X	X
Aumento da temperatura		X			
Alteração em cargas de sedimentos	X	X	X		X

FONTE: UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2011). Adaptado pela autora (2011).

NOTA: Traduzido pela autora (2011)

O QUADRO 2.1 leva a conclusão de que o aumento de volume das águas pluviais e o aumento de vazão, causados pelo incremento da impermeabilização, trazem mais impactos ao levar em consideração os itens citados. O aumento de volume e vazão afetam o meio ambiente por enchentes, diminuição da fauna e flora, erosão, ampliação do canal e alteração dos leitos dos rios.

Schueler (1994), por exemplo, analisou vários estudos, realizados nos Estados Unidos da América, para classificar a qualidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, baseando-se na relação entre a área impermeável e a qualidade da água nos córregos. Ele classificou como componentes da impermeabilização o sistema viário de transporte (ruas, estradas e estacionamentos) e as coberturas (telhados). Para o autor, a qualidade da água do escoamento superficial começa a degradar quando mais de 10% da área de uma sub-bacia é impermeabilizada.

Ao utilizar um conceito semelhante, considerando os componentes da impermeabilização, Lee e Heany (2003) avaliaram a relação da chuva com o escoamento superficial, e como essa relação é afetada pela área impermeável dos solos, em uma área residencial em Boulder (E.U.A). A área de estudo era composta por três quarteirões com 59 lotes, com baixas e altas densidades de ocupação e lotes com área total de 600m² em média. Para isto, do total de área impermeável, levou-se em consideração a área impermeável diretamente conectada (ruas pavimentadas e estacionamentos). Os autores utilizaram análises de campo e levantamento por sensoriamento remoto. O resultado demonstrou que do total de

área impermeável, 73% do escoamento superficial é contribuição da área impermeável diretamente conectada.

Yoshikoshi *et al.* (2008) discutiram sobre as modificações no ambiente hídrico durante o processo de urbanização e seus impactos na camada subterrânea. Fez-se uma pesquisa comparativa entre três cidades de tamanhos e estágios de urbanização diferentes. Os autores examinaram a relação entre o desenvolvimento urbano e o ambiente hídrico (rios, canais e aquedutos) de Tóquio e Osaka no Japão e Bangkok na Tailândia.

O trabalho demonstrou que o desenvolvimento urbano não afetou as mudanças hidrológicas da superfície urbana de Bangkok na mesma proporção que em Tóquio e Osaka. As três razões foram:

- a) Chuvas anuais abundantes em Bangkok;
- b) Bangkok tem a menor porcentagem de áreas impermeáveis. Isto significa que a água pode infiltrar com mais facilidade no solo;
- c) o grau de extensão da urbanização tanto na superfície quanto no subsolo.

A camada subterrânea de Bangkok não foi muito afetada, porque o desenvolvimento das áreas subterrâneas não atingiu camadas muito profundas.

O estudo de Yoshikoshi *et al.* (2008) explica que a urbanização trouxe para Tóquio, Osaka e Bangkok maior consumo de recursos hídricos, estradas, vias, indústrias e áreas residenciais, que foram se expandindo junto com o desenvolvimento horizontal das cidades. Além disso, túneis de metrô e canalizações que se expandiram para áreas profundas do subsolo.

Entre os anos de 1900 e 2000, Tóquio e Osaka tinham quase 100% de suas áreas cobertas por edificações e pavimentação impermeáveis. Em Bangkok este índice era menos de 50%. De acordo com Yoshikoshi *et al.* (2008), esses fatos mostram que as diferenças no tamanho das cidades, das estruturas urbanas e estágios de urbanização promovem condições distintas nos ambientes hídricos, tanto nas superfícies como nas camadas subterrâneas.

No Brasil, Campana e Tucci (1994) efetuaram estudos sobre as superfícies impermeáveis analisando dois parâmetros. Inicialmente utilizaram imagens de satélite de sensoriamento remoto com uma metodologia baseada na matemática *fuzzy* para estimar a área impermeável em bacias urbanas de São Paulo, Porto Alegre e Curitiba. O segundo parâmetro foi o da densidade habitacional. A partir

disso, os autores estabeleceram uma relação entre a área impermeável e a densidade habitacional para essas cidades brasileiras.

Ao utilizar o primeiro parâmetro, eles concluíram que de todas as bacias analisadas para cada cidade, nas bacias abaixo de 2km² os erros de quantificação entre elas se encontravam distribuídos dentro da faixa de 25%, enquanto que para bacias maiores o erro tende a ficar dentro da faixa de 15% e convergindo para 10% em bacias acima de 4km².

Os mesmos autores compararam o estudo inicial feito com imagens de sensoriamento remoto com a relação densidade populacional-impermeabilidade. Nesta técnica, os resultados entre os dois métodos utilizados podem ser muitos diferentes para uma mesma taxa de área impermeável, basta que a ocupação seja diferenciada, por exemplo, de edifícios de apartamentos, indústrias ou residências térreas.

Ao ter em foco a ocupação dos lotes, Tucci (2000) encontrou, através de suas pesquisas, as relações entre área impermeável, impermeabilização do lote e aumento da vazão específica, a partir da consideração da situação de área rural de uma bacia de 1km². A metodologia foi baseada no cálculo da vazão e do coeficiente do escoamento superficial através do Método Racional.

O Autor apresentou a relação entre o aumento do volume de escoamento em bacias urbanas com a taxa de impermeabilização, quando comparado com uma bacia rural. Os resultados mostraram que a impermeabilização de 7% da área dos lotes acarreta em mais que a duplicação do escoamento superficial e, em casos mais extremos, com a impermeabilização de 80% do lote, é gerado um escoamento superficial até oito vezes maior (TABELA 2.1).

TABELA 2.1 – IMPACTO DA URBANIZAÇÃO

Área impermeável no lote (%)	Área impermeável na bacia (%)	Aumento* médio da vazão específica	Aumento* médio do volume de escoamento superficial
7,0	20	6,52	2,15
20,0	30	9,65	3,22
33,3	40	12,90	4,29
46,7	50	16,24	5,36
60,0	60	19,65	6,44
73,3	70	23,14	7,51
80,0	80	26,67	8,58

FONTE: TUCCI (2000, p. 8)

NOTA (*) aumento em número de vezes com relação à condição rural

Pela ordem cronológica, Centeno *et al.* (2001) realizaram um estudo sobre a impermeabilização de uma área urbana e compararam com a Lei de Zoneamento Uso e Ocupação do Solo de Curitiba (Lei nº 9.800/2000). Os autores apresentaram e discutiram uma metodologia que possibilita identificar objetos que possuem características espectrais similares e graus de permeabilidade diferentes e, com isto, estimar a cobertura do solo e a permeabilidade numa bacia urbana. A área selecionada para estudo compreendeu uma região residencial no município de Curitiba, pertencente ao bairro Guabirota.

As características quanto ao uso e ocupação do solo são regulamentadas pela Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo do Município de Curitiba (Lei nº 9.800/2000).

O primeiro passo de Centeno *et al.* (2001) foi a obtenção de um mapa das áreas permeáveis e impermeáveis a partir de fotografias aéreas, utilizando dois métodos: a) de monorestituição; b) de classificação. Além destes, o método da densidade habitacional. A diferença entre as porcentagens nos dois primeiros métodos foi considerada grande quando analisaram cada lote. Para a quadra 1 o percentual variou em 6,7%. Já para a quadra 2, este valor chegou a 36%. Isto ocorreu principalmente porque as construções, pátios e jardins não foram bem delineados na classificação. Outra diferença foi que a monorestituição é feita a nível do chão e a classificação à altura do dossel. Com isto, no método de classificação, as copas das árvores são identificadas como área permeável, mesmo quando elas ocorrem acima dos outros objetos não permeáveis, como coberturas e pátios pavimentados. A FIGURA 2.2 mostra os produtos resultantes da monirestituição e da classificação. Nota-se que na monorestituição as bordas são bem delineadas, pois o usuário define os polígonos. Já na classificação as bordas se mostram irregulares, pois este método depende da leitura da classe encontrada na cena urbana, sendo permeável ou impermeável.

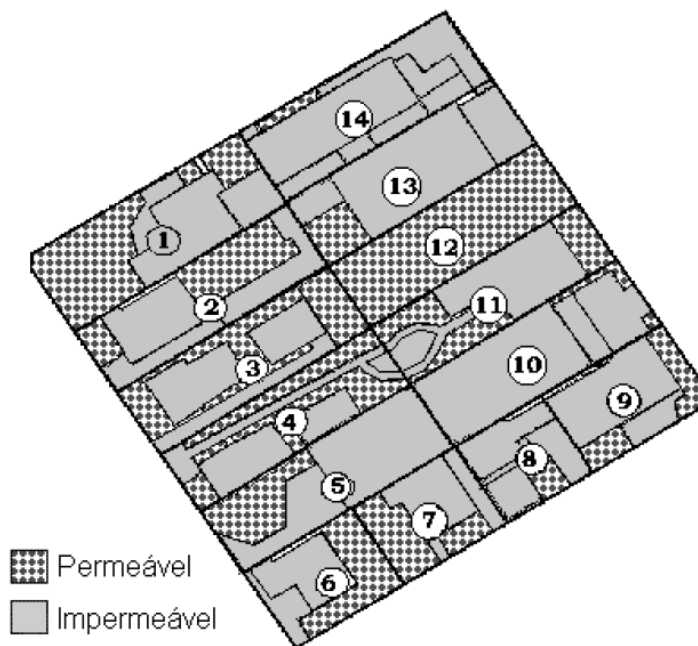


FIGURA 2.2 – PRODUTO DA MONORESTITUIÇÃO
FONTE: CENTENO *ET AL.* (2001)

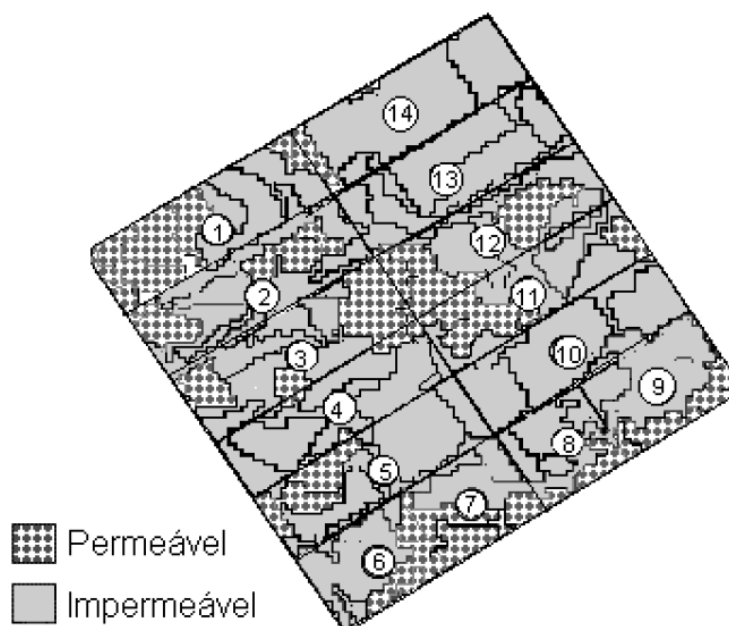


FIGURA 2.3 – PRODUTO DA CLASSIFICAÇÃO
FONTE: CENTENO *ET AL.* (2001)

Para fins de verificação, Centeno *et al.* (2001) compararam a taxa de permeabilidade de cada lote, obtida pelos dois primeiros métodos, com a taxa mínima de permeabilidade (25%) especificada pela Lei nº 9.800/2000. A verificação aponta que dos 24 lotes avaliados, há 14 lotes (60%) nos quais tais limites não são

respeitados. A análise comparativa entre o método da restituição, classificação e ainda, da densidade demográfica comprova que a diferença absoluta do percentual de permeabilidade é de 1,2%, validando o uso do método da classificação.

Mais recentemente, Furtini, Ferreira e Sampaio (2009) realizaram uma análise temporal da ocupação urbana em três diferentes períodos (1971, 1986 e 1999) na sub-bacia do Córrego Centenário, na cidade de Lavras (MG). O objetivo deste estudo foi analisar a impermeabilidade dos solos da superfície da sub-bacia. Os resultados demonstraram que a permeabilidade da superfície aumentou de 1971, quando apresentava 11,88%, passando para 37,68% em 1999, e concluíram que a urbanização causou impactos na sub-bacia.

Os Autores utilizaram ortofotografias, as quais foram passadas no *scanner* e em seguida georreferenciadas. Eles cruzaram os dados contidos nos mapas para identificar como a permeabilidade da superfície do solo da sub-bacia se alterou nas épocas indicadas.

Ainda no mesmo estudo, nas visitas de campo puderam notar que nas regiões com maior impermeabilização, o fluxo de pessoas e veículos já está sendo prejudicado porque as edificações estavam muito próximas, contendo pouca área de ventilação e iluminação. O aumento das superfícies impermeáveis ocorreu em regiões localizadas mais próximas ao córrego do Centenário e os autores ressaltam que se na atualidade ainda não há ocorrência de muitas enchentes nesta sub-bacia. Ressalta-se a importância que o Plano Diretor Municipal contemple o monitoramento e a conservação das superfícies permeáveis para garantir o fluxo de escoamento adequado para o Córrego Centenário.

Ao destacar outro preceito, no município de Londrina (PR), Gonçalves, Polidoro e Silva (2009) sugeriram uma atualização do Decreto Municipal nº 402/1980, que rege os projetos de drenagem. Os Autores classificaram duas áreas densamente povoadas do município e mapearam as amostras como: vias, vegetação densa, telhados e solo nu. Eles analisaram o coeficiente de escoamento superficial que é utilizado no Método Racional. Com o levantamento foram obtidos valores de área impermeável de 65,05% para o recorte 1 e 58,64% para o recorte 2. No recorte 1, o valor de 0,65 de escoamento superficial é compatível com o decreto. Já para o recorte 2, o coeficiente de escoamento ficou em 0,60. Este coeficiente teria um valor bem mais elevado se fosse considerada, por exemplo, a área central da cidade de Londrina, podendo chegar a 0,95.

Os valores encontrados pelos Autores permitem afirmar que os índices propostos no decreto são satisfatórios com exceção do valor de 0,80, proposto para áreas centrais. Os valores obtidos por sensoriamento remoto permitem afirmar que 0,90 a 0,95 é uma faixa de valor mais realista. O valor apresentado por Wilken (1978) para a cidade de São Paulo para tais áreas varia entre 0,75 a 0,95.

Do exposto e descrito, nota-se que os problemas de impermeabilização dos solos ocasionados pela urbanização estão sendo diagnosticados a partir de diferentes técnicas ao longo dos anos. Estes problemas podem ser minimizados com políticas públicas, projetos governamentais, conscientização ambiental, cuja efetivação depende da ação individual e coletiva. Para ordenar o território e auxiliar o desenvolvimento dos municípios, é necessária a mobilização dos atores da sociedade, que atuando em pequena escala, contribuem para que o planejamento seja bem sucedido em grande escala.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS IMPERMEÁVEIS POR SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO POR CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

2.2.1 *Edge Detection and Image Segmentation* (EDISON)

O sistema *Edge Detection and Image Segmentation* (EDISON) foi desenvolvido pela Universidade de Rutgers (EUA). Este sistema é uma ferramenta de detecção para imagens de baixo nível de extração de características. O *software* EDISON tem a função de segmentar a imagem e detectar as bordas (RUTGERS UNIVERSITY, 2002) como mostra a FIGURA 2.4.



FIGURA 2.4 – SEGMENTAÇÃO DA IMAGEM E DETECÇÃO DE BORDAS - SOFTWARE EDISON
 FONTE: CHRISTOUDIAS, GEORGESCU, MEER (2002)

Na FIGURA 2.4 a imagem da flor é segmentada, e na última imagem as bordas são detectadas criando um agrupamento de regiões.

O programa EDISON, além de detectar as bordas, também é baseado na segmentação *mean-shift* de deslocamento de médias espectrais. Na segmentação *mean-shift*, os *pixels* são mapeados em um espaço de cores, onde cada aglomerado delineia uma região homogênea na imagem (FIGURA 2.5) (CHRISTOUDIAS, GEORGESCU & MEER, 2002).



FIGURA 2.5 – SEGMENTAÇÃO MEAN-SHIFT
 FONTE: CHRISTOUDIAS, GEORGESCU, MEER (2002)

A FIGURA 2.5, mostra as regiões detectadas pelo *software* em amarelo. Na imagem, nota-se que os olhos da pessoa tem a mesma tonalidade. As duas regiões formadas pelos olhos serão agrupadas, assim como outras regiões que possuem

características semelhantes. Com as regiões mais uniformes, se inicia a Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança.

2.2.2 Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança – MultiSpec software

A Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança é um método que utiliza conceitos de probabilidade e estatística para definir a qual classe cada *pixel* tem maior probabilidade de pertencer. A classificação é dita supervisionada, pois o usuário define quais as classes que deverão constar no mapa temático final. Para isto, ao definir as classes desejadas, o usuário também define amostras de cada uma destas classes (ARAKI, WALTER & SILVA, 2011).

Ao utilizar o método da máxima verossimilhança é possível fazer uma classificação a nível de *pixel*, isto é, cada *pixel* é atribuído inteiramente a uma das classes pré-definidas ou permanece como não classificado (CAMPANA & TUCCI, 1994). A FIGURA 2.6 mostra como é feita a classificação do *pixel* pelo Método de Classificação supervisionada de máxima verossimilhança.

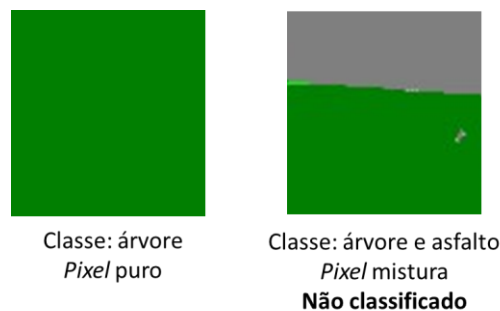


FIGURA 2.6 – CLASSIFICAÇÃO DO *PIXEL* PELO MÉTODO DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

Campana e Tucci (1994) utilizaram o método de classificação supervisionada com *pixel* mistura para fazer a classificação digital das superfícies impermeáveis. O *pixel* mistura é aquele no qual mais de uma classe está presente. No método da máxima verossimilhança de classificação de imagens digitais cada classe é caracterizada por uma função que assume os valores de um ou zero, se o *pixel* pertence ou não à classe, respectivamente. Dessa forma todos os *pixels* são

considerados puros, ou seja, que pertencem a uma única classe. Centeno *et al.* (2001) utilizaram a classificação supervisionada utilizando o conceito de *pixel* mistura.

Fendrich (2002) utilizou o método da máxima verossimilhança de classificação de imagens digitais para classificar as áreas permeáveis e impermeáveis da Bacia Hidrográfica do Rio Belém para os anos de 1988, 1996 e 1999.

Gonçalves, Polidoro e Silva (2009) aplicaram o método de classificação para caracterizar o uso e ocupação do solo do município de Londrina, Paraná. Através da classificação das imagens de sensoriamento remoto, os autores estimaram a porcentagem do tipo de solo de algumas áreas na zona urbana do município.

A Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança pode ser obtida a partir do *software* MultiSpec. O MultiSpec se caracteriza por ser um software de tratamento de imagens com licença gratuita. É um sistema de processamento para analisar de forma interativa as imagens obtidas por sensoriamento remoto, pois com ele é possível selecionar as amostras das imagens (PURDUE RESEARCH FOUNDATION, 2012).

Na sequência, são apresentados alguns mecanismos de mitigação que visam equilibrar os efeitos da impermeabilização dos solos e diminuir o volume do escoamento superficial nas bacias hidrográficas.

2.3 O ESCOAMENTO SUPERFICIAL E MECANISMOS DE MITIGAÇÃO

2.3.1 Conceito de escoamento superficial

Ao pensar no processo da gota quando atinge o solo verifica-se que de modo geral, sob uma intensidade constante de chuva, a infiltração e o escoamento superficial são processos antagônicos. À medida que um diminui (infiltração) o outro aumenta (escoamento superficial), até atingirem certo equilíbrio dinâmico (estabilização). A infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo. À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umidecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto há aporte de água, o perfil de umidade tende à saturação em

toda profundidade, sendo a superfície, naturalmente, o primeiro nível a saturar. Normalmente a infiltração decorrente de precipitações não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturar, quando consegue, apenas as camadas próximas à superfície, conformando um perfil típico onde o teor de umidade decresce com a profundidade (SILVEIRA, LOUZADA & BELTRAME, 2009).

A água que atinge o solo segue diversos caminhos. Como o solo é um meio poroso, há infiltração de toda precipitação que chega a ele, enquanto sua superfície não satura. A partir do momento da saturação superficial, à medida que o solo vai sendo saturado a maiores profundidades, a infiltração decresce até uma taxa residual, com o excesso não infiltrado da precipitação é gerado o escoamento superficial. A presença de vegetação na superfície do solo contribui como um obstáculo para o escoamento superficial, favorecendo a infiltração em percurso (SILVEIRA, 2009).

O escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da Terra. Esse estudo considera o movimento da água a partir da menor porção de chuva que, caindo sobre um solo saturado de umidade ou impermeável, escoar pela superfície, formando sucessivamente as enxurradas ou torrentes, córregos, ribeirões, rios e lagos ou reservatórios de acumulação. O escoamento superficial tem origem, fundamentalmente, nas precipitações. Parte da água das chuvas é interceptada pela vegetação e outros obstáculos, de onde se evapora posteriormente. Do volume que atinge a superfície do solo, parte é retirada em depressões do terreno, parte se infiltra. O restante escoar pela superfície logo que a intensidade da precipitação supere a capacidade de infiltração no solo e os espaços nas superfícies retentoras tenham sido preenchidos (PINTO; HOLTZ & MARTINS, 1973).

2.3.2 Medidas mitigadoras do escoamento superficial

A tentativa de controlar o escoamento superficial com a difusão de técnicas de mitigação tem como objetivo principal o controle de enchentes urbanas.

Cruz, Tucci e Silveira (1998) destacam o aumento do amortecimento na microdrenagem com mecanismos de controle que podem ser aplicados na redução ou eliminação dos efeitos negativos da impermeabilização. O uso de reservatórios de

detenção associados à superfície de infiltração em lotes possibilita a redução de vazões de pico a valores compatíveis com os encontrados antes da urbanização.

A quantificação dos volumes necessários ao amortecimento das enchentes em lotes foi estimada por Cruz, Tucci e Silveira (1998) através do uso de um modelo matemático hidrológico de precipitação-vazão. Os Autores avaliaram seis tipos de reservatórios implantados em lotes da cidade de Porto Alegre, que foram submetidos a aumento de área impermeável. Os dispositivos de armazenamento permitem o retardo do escoamento, possibilitando a recuperação da capacidade de amortecimento perdida pela bacia devido à impermeabilização.

Os resultados das simulações mostraram aumentos nos valores de pico e nos volumes totais escoados dos hidrogramas de saída dos lotes em crescente ocupação. No caso dos lotes de maior dimensão (600m^2), com impermeabilização máxima (100%), seria necessário um volume de amortecimento da ordem de $2,2\text{m}^3$ para manter a vazão de pico em valor equivalente ao da condição de pré-ocupação; enquanto que ao considerar as taxas da ordem de 50%, para o mesmo lote, o volume localizar-se-ia próximo a 1m^3 , valor correspondente ao volume de um reservatório usual de abastecimento residencial.

Na perspectiva da ocupação do lote, sob o enfoque de ocupação no terreno, a existência de infiltração nos reservatórios, como os que apresentam solo batido, leva a redução em volumes de água retida. Além disso, o tamanho do reservatório não chega a acarretar uma perda de área no lote. A ocupação das estruturas em planta com relação à área total dos lotes não ultrapassou 1%.

Segundo os Autores, as simulações em lotes urbanos hipotéticos mostraram aumentos em vazões de pico da ordem de 17 a 45% com relação aos valores de vazões de pré-ocupação.

Outras medidas e processos para redução e retardamento do escoamento superficial urbano estão apresentados no QUADRO 2.2.

QUADRO 2.2 – PROCESSOS E MEDIDAS PARA REDUÇÃO E RETARDAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO

Características da área	Redução do escoamento	Retardamento do escoamento superficial
Cobertura plana de grandes dimensões	<ol style="list-style-type: none"> 1. Armazenamento em cisterna 2. Jardim suspenso 3. Armazenamento em tanque ou chafariz 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Armazenamento no telhado, empregando condutores verticais estreitos 2. Aumento da rugosidade do telhado: <ol style="list-style-type: none"> a. Cobertura ondulada b. Cobertura com cascalho
Estacionamento e pátios	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pavimento permeável <ol style="list-style-type: none"> a. Cascalho b. Furos no pavimento impermeável 2. Reservatório de concreto ou cisterna sob estacionamento 3. Áreas de armazenamento gramada ao redor dos pátios e estacionamentos 4. Valas com cascalho ou brita 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Faixas gramadas no estacionamento e no pátio 2. Canal gramado drenando o estacionamento ou pátio 3. Armazenamento e detenção para áreas impermeáveis <ol style="list-style-type: none"> a. Pavimento ondulado b. Depressões c. Bacias de detenção
Residenciais	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cisterna para casas individuais ou grupo de casas 2. Passeios com cascalho ou brita 3. Áreas ao redor ajardinadas 4. Recarga do lençol subterrâneo <ol style="list-style-type: none"> a. Tubos perfurados b. Cascalho ou areia c. Valeta d. Tubos porosos e. Poços secos 5. Depressões gramadas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reservatório de detenção 2. Gramas espessas para alta rugosidade 3. Passeios com cascalho ou brita 4. Sarjetas ou canais gramados 5. Aumentando o percurso da água através de sarjetas, desvios, etc.
Gerais	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vias com cascalho ou brita 2. Calçadas e passeios permeáveis 3. Canteiros cobertos com folhas e jardim gramado 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vias com cascalho ou brita 2. Passeios com cascalho, brita ou gramados

FONTE: D.A.E.E (1980). Apresentado por Fendrich (2002)

Algumas soluções mitigadoras, condizentes com a temática do trabalho, como áreas de vegetação ou pavimento permeável apresentadas no QUADRO 2.2, estão destacadas a seguir.

a) Pavimento permeável

Apesar de alguns pesquisadores considerarem os pavimentos permeáveis como uma ferramenta eficaz na redução do escoamento de águas pluviais (CHARLES RIVER WATERSHED ASSOCIATION DE MASSACHUSETTS, 2008) outros estudos têm demonstrado que a eficiência deste tipo de pavimento depende

de diversos fatores relacionados com o solo e a manutenção do mesmo (ARAÚJO, TUCCI & GOLDENFUM, 2000; MAUS, RIGHES & BURIOL, 2007).

Apesar de haver uma redução do escoamento superficial para alguns tipos de pavimentos, como o concreto poroso, existem algumas questões a serem analisadas quanto à implantação deste mecanismo e as limitações desse modelo. Os tipos de solo com um percentual superior a 30% de argila ou 40% de silte e argila combinados, por exemplo, não servem para implantação do pavimento permeável. O nível do lençol freático, no período chuvoso, deve estar pelo menos 1,2m abaixo do pavimento (ARAÚJO, TUCCI & GOLDENFUM, 2000).

Os pavimentos permeáveis possuem baixo poder de suporte e problemas de manutenção, além dos custos de implantação. O custo médio gasto em manutenção nos Estados Unidos da América é da ordem de 1 a 2% do custo de implantação do dispositivo, e existe o custo de manutenção decorrente da limpeza dos poros dos pavimentos, com jatos d'água e máquinas de aspiração de sedimentos e poeiras que, se não eliminados, podem acarretar a perda da função específica que é permitir que a água infiltre no solo. Além disso, deve-se considerar que na manutenção existem gastos de recursos como água e energia (ARAÚJO, TUCCI & GOLDENFUM, 2000). O custo unitário de implantação dos pavimentos permeáveis nos Estados Unidos pode ser visto na TABELA 2.2.

TABELA 2.2 – CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Tipo de pavimento	Custo unitário (R\$/m²)
Blocos de concreto	10,10
Paralelepípedo	16,74
Concreto impermeável	13,14
Blocos vazados	18,22
Concreto poroso	19,06

FONTE: ARAÚJO, TUCCI & GOLDENFUM (2000)

Na TABELA 2.2, nota-se que o custo dos blocos de concreto é quase metade do custo do concreto poroso. Segundo análises realizadas pelos Autores, o bloco de concreto gera um escoamento superficial 15 vezes maior que o concreto poroso.

Estudos feitos pelo Department of Biological and Agricultural Engineering (2008) da North Carolina State University demonstraram que, em alguns casos, o escoamento superficial era o mesmo ao utilizar pavimento permeável e asfalto padrão, quando o solo base era de textura argilosa. Alguns tipos de pavimento permeável podem ter altas taxas de infiltração, outros não. Além disso, há diversas

ocorrências de entupimento nos espaços entre partículas que diminuem a eficiência deste tipo de mecanismo, podendo ser evitado com a manutenção adequada e a escolha correta na localização de implantação, ficando longe de áreas que possam ter alterações no solo.

Em 2007, foi implantada uma lei no estado da Carolina do Norte (EUA), impondo que 20% da área de estacionamento deveria possuir pavimento permeável, sendo considerada uma prática ambientalmente correta e uma prática alternativa para a gestão das águas pluviais (NCSU, 2008).

No Brasil, Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) analisaram a eficiência de pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial, em comparação com solo compactado com cobertura de vegetação rasteira, e também com pavimentos impermeáveis e semi-permeáveis. Os Autores fizeram simulações de chuva em diferentes tipos de superfícies na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para isto, eles utilizaram um simulador de chuva para uma parcela alvo de 1m² conforme a FIGURA 2.7.

A FIGURA 2.7 mostra os diferentes tipos de amostras utilizadas. As superfícies escolhidas para execução dos ensaios de simulação de chuva foram da esquerda para direita: solo compactado com vegetação, paralelepípedos, blocos de concreto, solo compactado, blocos de concreto vazados e pedrisco. No pavimento impermeável (bloco de concreto), os resultados mostraram que praticamente toda chuva gera escoamento superficial, com acréscimo de 44% no coeficiente de escoamento em comparação com a simulação no solo compactado, mostrando a potencialidade de crescimento das cheias urbanas em função de uma utilização intensa deste tipo de cobertura. Os autores acreditam que o uso destes dispositivos é recomendado para o controle dos volumes escoados (ARAÚJO; TUCCI & GOLDENFUM, 2000).



FIGURA 2.7 – PAVIMENTOS PERMEÁVEIS SIMULADOS NO IPH/UFRGS
 FONTE: ARAÚJO, TUCCI & GOLDENFUM (2000, p. 25)

Maus, Righes e Buriol (2007) fizeram um experimento semelhante e concluíram que o volume máximo escoado superficialmente ocorreu no tratamento com asfalto (168mm), seguido de paralelepípedo (51,34mm). Na parcela com gramado o escoamento superficial foi praticamente nulo (5mm).

Na parcela com pavimento permeável não houve escoamento superficial devido às baixas intensidades das chuvas ocorridas no período. A baixa intensidade da chuva proporciona tempo suficiente para que o fluxo de água superficial seja infiltrado no solo reduzindo os valores de escoamento superficial.

Moretti & Nishihata (2006) analisaram o projeto do estacionamento de grande porte de um shopping já implantado no município de Campinas (SP). Os Autores compararam alternativas de projeto que buscam incorporar os conceitos de piso permeável e de utilização intensiva de vegetação. O estacionamento 1 possui área impermeável de 32.100m² e 1.550 vagas. A alternativa 1 foi substituir o piso existente do local da parada de veículos por permeável. O resultado foi a diminuição da superfície impermeabilizada para 14.200m², porém o número de vagas foi mantido. Na alternativa 2, além do pavimento permeável foram criadas áreas para circulação exclusiva de pedestres. Essas vias de pedestres, em alguns pontos, circulam entre bosques. A parcela impermeável diminuiu para 11.500m² e o número de vagas ficou em 1.503. Verificou-se que é possível reduzir a menos da metade a área impermeabilizada, praticamente sem redução do número de vagas de estacionamento.

b) Rain Garden (Jardim para chuva):

É denominado *rain garden* um jardim com plantas selecionadas que tem a função de captar a água da chuva, diminuir sua velocidade e volume, além de melhorar a qualidade da água. Este jardim pode ser implantado em escolas, casas, centros comunitários, religiosos ou outros locais. Este mecanismo contém plantas que interceptam o escoamento, diminuem sua velocidade e absorvem seu conteúdo. Além disso, restaura o habitat ao atrair insetos, borboletas, sapos e predadores, como gaviões (CBF, s/d). Um exemplo é mostrado na FIGURA 2.8.



FIGURA 2.8 – RAIN GARDEN, OHIO (E.U.A)
FONTE: CUYAHOGA SOIL AND WATER CONSERVATION DISTRICT (2011)

c) Planter boxes (caixa de plantas):

Segundo a Charles River Watershed Association de Massachusetts, E.U.A, (2008), uma *planter box* é uma caixa não muito extensa que contém uma área vegetal que coleta e trata a água da chuva utilizando a bioretenção. O sistema de bioretenção coleta e filtra a água através de camadas de folhas, solo e raízes, onde poluentes são retidos. Estes mecanismos não requerem muito espaço e podem adicionar um apelo estético e criar um habitat de alguns seres vivos nas ruas das cidades, estacionamentos e propriedades comerciais e residenciais, conforme demonstrado na FIGURA 2.9.



FIGURA 2.9 – PLANTER BOX, SUÉCIA, 2007

FONTE: CHARLES RIVER WATERSHED ASSOCIATION, MASSACHUSETTS, E.U.A, 2008

O sistema *Planter Box* normalmente contém espécies nativas, grama, flores, arbustos e árvores. Entre seus benefícios estão:

- a) Redução do escoamento superficial, da taxa de enchentes e do aumento de temperatura;
- b) aumenta a infiltração e a recarga dos aquíferos;
- c) auxilia no tratamento das águas do escoamento (poluição difusa);
- d) melhora a qualidade estética das vias e vizinhança;
- e) promove o habitat natural para alguns seres vivos;
- f) fornece sombra (árvores) para edifícios, diminuindo os custos de energia;
- g) requer espaços limitados;
- h) flexível para ser utilizado em áreas de diferentes formatos e dimensões;
- i) fornece uma alternativa de tratamento da água da chuva, mais econômica do que outras práticas de gestão.

d) Telhado verde:

Jardins de cobertura e coberturas verdes já existiam na Babilônia no século VI antes de Cristo. Em Berlim, por motivos de segurança contra incêndio, cobriam-se (em 1890) as casas rurais com uma camada de húmus, onde a vegetação se alojava e passava a crescer (NEUFERT, 2004).

Ao utilizar este mecanismo pesquisadores monitoraram e analisaram o escoamento superficial no período de janeiro a novembro de 2005 na Pensilvânia

(E.U.A). Foram analisados 72 eventos de precipitação em coberturas verdes e coberturas impermeáveis. Os dados recolhidos demonstraram que o telhado verde pode reter 50% ou mais da precipitação anual. Esses dados ressaltam o uso de telhados verdes como uma ferramenta de mitigação de águas pluviais (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2009). Um exemplo de telhado verde pode ser visto na FIGURA 2.10.



FIGURA 2.10 – TELHADO VERDE DO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFR, CURITIBA
FONTE: ESCRITÓRIO VERDE, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (2012)

No Brasil, mecanismos de detenção concentrada e/ou centralizada das águas pluviais conhecidos como “piscinões” são largamente difundidos na Região Metropolitana de São Paulo (CANHOLI, 2005). Fendrich (2002) apresenta como solução técnica a detenção distribuída das águas pluviais com estudos realizados em Curitiba. Nesta técnica além de ser realizada a detenção das águas pluviais, estas são aproveitadas para fins não potáveis.

O tópico seguinte faz uma abordagem sobre as enchentes urbanas, que é um dos principais impactos do aumento das superfícies impermeáveis relacionado com o aumento de vazões superficiais.

2.4 ENCHENTES URBANAS

O desenvolvimento histórico da utilização de áreas livres explica boa parte dos condicionamentos urbanos existentes. Devido à dificuldade de meios de transporte no passado, utilizava-se o rio como a via principal. As cidades se desenvolveram às margens dos rios ou no litoral. Pela própria experiência dos antigos moradores, a população procurou habitar as zonas mais altas onde o rio dificilmente chegaria. Com o crescimento desordenado e acelerado das cidades brasileiras, principalmente na segunda metade do século XX, as áreas de risco considerável, como as várzeas inundáveis, foram sendo ocupadas trazendo como consequência prejuízos humanos e materiais de grande monta (TUCCI, 2009).

De uma forma geral, as enchentes são fenômenos naturais que ocorrem periodicamente nos cursos d'água, devido a chuvas de magnitude elevada. As enchentes, em áreas urbanas, podem ser decorrentes destas chuvas intensas de longo período de retorno; ou devidas a transbordamentos de cursos d'água provocados por mudanças no equilíbrio no ciclo hidrológico, em regiões a montante das áreas urbanas; ou ainda, devidas à própria urbanização (POMPÊO, 2000).

As enchentes provocadas pela urbanização se devem a diversos fatores, dentre os quais se destacam o excessivo parcelamento do solo e a conseqüente impermeabilização das grandes superfícies, a ocupação de áreas ribeirinhas tais como várzeas, áreas de inundação frequente e zonas alagadiças, a obstrução de canalizações por detritos e sedimentos e também as obras de drenagem inadequadas (POMPÊO, 2000).

Segundo Tucci (2008), as enchentes têm origens diversas. Para o Autor, o escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas em razão de dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados:

- a) Enchentes de áreas ribeirinhas: estas ocorrem no leito maior dos rios por causa da variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;
- b) Enchentes em razão da urbanização: são as inundações que ocorrem na drenagem urbana por causa do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento (TUCCI, 2008).

As medidas para o controle das enchentes podem ser do tipo estrutural ou não-estrutural. As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto que as não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes (TUCCI, 2009).

Dentre as medidas não-estruturais se encontra a definição e o mapeamento das áreas de risco e o zoneamento, que facilitam o correto aproveitamento do espaço geográfico e permitem uma localização precisa das áreas e suas restrições. A organização de mapas de risco de enchentes facilita o planejamento urbano e o desenvolvimento de planos diretores, em harmonia com as determinantes ambientais (SEDEC, 2003)

2.4.1 Aspectos da situação ambiental crítica de enchentes

Em vários países como Japão, Austrália, Estados Unidos da América e Brasil o problema das enchentes foi diagnosticado visando à condução de medidas mitigadoras que estabelecessem o equilíbrio entre o meio ambiente natural e a interferência humana.

O governo metropolitano de Tóquio tem construído sistemas de drenagem urbana para aliviar as enchentes na cidade. Embora a implantação dos sistemas alcance quase 100% da área, as águas residuárias¹ sofrem refluxo, em conjunto com as enchentes urbanas, quando os rios de pequeno e médio porte transbordam durante as chuvas intensas. Os bairros assim como as ruas urbanas estão, cada vez mais, sendo impermeabilizadas com asfalto e concreto, assim, as águas pluviais não podem infiltrar no solo. Por conseguinte, um enorme volume destas águas escoando nas galerias de esgotos pluviais de uma só vez resulta nas enchentes urbanas frequentes (FENDRICH, 2009).

Na Austrália, na cidade de Brisbane, os primeiros registros de enchentes foram feitos em 1840. O acompanhamento dos eventos indica que a cidade tem uma longa história de enchentes. A maior cheia do século XX ocorreu em janeiro de 1974 e causou danos generalizados em Brisbane, afetando pelo menos 8.000 propriedades. O evento mais recente ocorreu em janeiro de 2011. Embora menor do

¹ As águas residuárias se referem aos esgotos sanitários, resíduos líquidos industriais, águas pluviais (CASAN, 2005).

Iowa, Missouri, Wisconsin, e Illinois. Nesta enchente, pelo menos 75 cidades foram completamente inundadas. No país, a Federal Emergency Management Agency (FEMA) disponibiliza os mapas de risco de enchentes de todo o território americano. O Nacional Weather Service possui um sistema de alerta automático de enchentes em 12 estados (FEMA, 2012; NOAA, 2012).

No Brasil, assim como em outros países, inúmeros córregos foram retificados e canalizados a céu aberto ou encerrados em galerias, a fim de permitir a construção de vias marginais sobre os antigos meandros. Isso significou que as várzeas, sazonalmente sujeitas ao alagamento, fossem suprimidas, o que provocou, além da aceleração dos escoamentos, o aumento considerável dos picos de vazão e, por conseguinte, das inundações, em muitos casos. Enquanto em países mais desenvolvidos a ênfase nas questões de drenagem urbana se concentra nos aspectos relativos à qualidade da água coletada, com práticas ligadas ao controle das inundações, em geral bastante adiantadas, no Brasil, o controle quantitativo das enchentes é o principal objetivo das ações (CANHOLI, 2005).

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), entre 1994 e 2003, foram implantadas cerca de 33 bacias de retenção, denominadas “piscinões”. Além da continuidade das obras de controle da quantidade da água pluvial, e à medida que os esgotos sanitários recebam tratamento adequado, o foco foi direcionado também ao controle da poluição difusa, ou seja, da qualidade da água dos rios urbanos. Paralelamente, foi realizada a readequação dos fundos de vale, com a restauração das suas margens, vegetação ciliar e a criação de parques lineares (*greenways*) (CANHOLI, 2005). Porém, a eficácia desses mecanismos ainda está em discussão.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008), os estados mais atingidos por enchentes entre 1998 e 2000 foram o Rio de Janeiro, São Paulo, Espírito Santo e Santa Catarina. A FIGURA 2.12 mostra que no Rio de Janeiro e São Paulo, estados que estiveram entre os mais atingidos por enchentes, há um adensamento populacional expressivo ao comparar com outros estados.

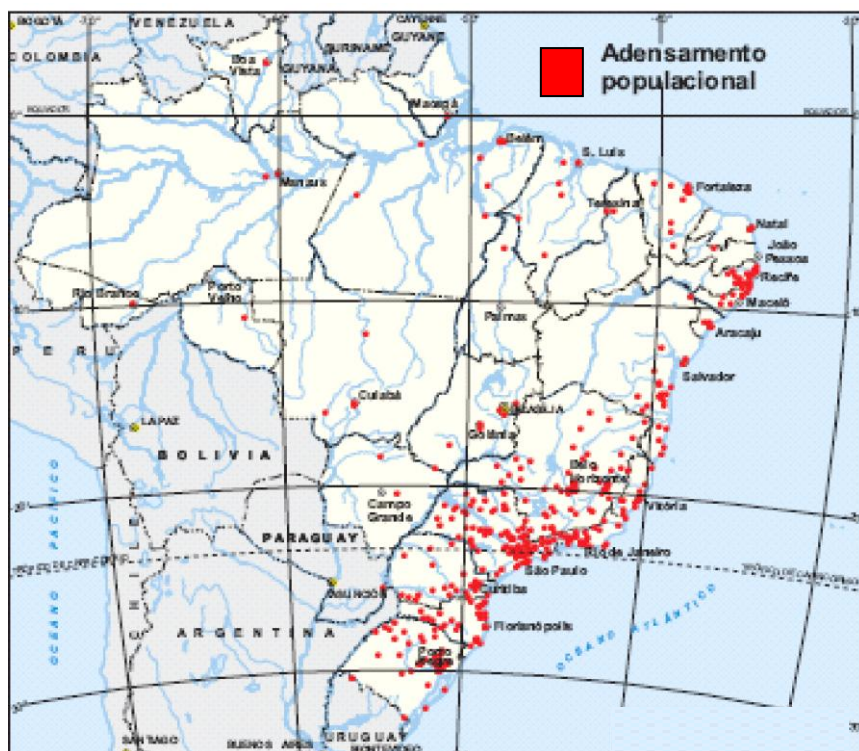


FIGURA 2.12 – ADENSAMENTO POPULACIONAL COMO FATOR DE AGRAVAMENTO DE ENCHENTES, 1998-2000

FONTE: PESQUISA NACIONAL DE SANEMANETO BÁSICO (2008); IBGE (2000)

Em Curitiba, o Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Alto Rio Iguaçu levantou e mapeou os pontos de enchentes e criou cenários, tais como atual, tendencial e dirigido para avaliar as enchentes. O objetivo do plano foi localizar os pontos críticos a fim de propor ações preventivas para mitigar a problemática das enchentes (SUDERHSA, 2002).

Stevaux, *et al.*(2010) analisaram casos particulares de enchentes no Brasil. As análises foram realizadas em São Paulo, Santa Catarina e Acre.

Em São Paulo, os problemas de enchentes no rio Tietê e seus afluentes começaram no final do século XIX, quando suas várzeas começaram a ser urbanizadas. O primeiro projeto de controle de enchentes foi implantado em 1894. Em 1925, 30 anos mais tarde, a porcentagem de áreas impermeáveis na cidade aumentou significativamente, e um novo projeto de canalização teve que ser realizado para conter a descarga hídrica que já havia triplicado desde o primeiro projeto. Entre 1998 e 2005, o último projeto foi realizado em duas fases. O objetivo foi conter uma descarga hídrica seis vezes maior do que a do primeiro projeto.

Em Santa Catarina, de 1983 até 2003 ocorreram 1.293 enchentes. No Estado, do total de 293 municípios, 75% sofrem enchentes frequentes em decorrência da

pressão antrópica sobre os recursos naturais e o aumento da população. O primeiro município no ranking de frequências de enchentes é Blumenau, com 20 episódios entre 1980 e 2003.

Entre 2004 e 2008 aconteceram mais de 203 episódios de enchentes com chuvas de curta duração e alta intensidade. As chuvas de novembro de 2008 afetaram 50 municípios, sendo declarada uma emergência nacional e calamidade pública. Em 24 horas choveu acima da média mensal. O rio Itajaí, com a maior área de drenagem de Santa Catarina, foi o protagonista das enchentes de 2008 nesse estado brasileiro.

No caso de Rio Branco, a explosão populacional entre 1980 e 2006, ocasionou uma ocupação caótica, sem um planejamento urbano e estudos ambientais apropriados. Como resultado, milhares de famílias ocuparam planícies aluviais do rio Acre, que divide a cidade em duas partes. Essa população é regularmente afetada por enchentes, produzindo perdas econômicas e problemas sociais. Os eventos mais expressivos foram em 1988, 1997 e 2006.

Os autores ressaltam que nos três casos analisados é evidente que os problemas estão relacionados com a falta de planejamento urbano. O número de mortos relacionados diretamente a enchentes é pequeno quando comparado com países como Bangladesh, Índia ou China. Porém, o número de pessoas afetadas é alto e os problemas urbanos trazidos pelas enchentes são significantes.

No Brasil, algumas empresas disponibilizam mapas de gerenciamento de risco de enchentes. Os levantamentos são capazes de obter, de forma rápida e precisa, informações referentes à topografia da região, detectando as possíveis áreas de risco ou viabilizando projetos para prevenção de enchentes, ou até mesmo um novo plano de ocupação de um município. O mapeamento interativo já foi feito para cidades como São Paulo (SP) e Pirapora (MG) (ESTEIO, 2011).

Em relação aos recursos para os levantamentos, a revisão bibliográfica permitiu identificar que sensoriamento remoto é uma das técnicas mais utilizadas para medir com precisão os índices de áreas permeáveis e impermeáveis em bacias hidrográficas. Além disso, a impermeabilização dos solos das cidades está sendo discutida em diversos países. As avaliações relacionadas à impermeabilização de áreas urbanas demonstraram a correlação com a ocorrência de enchentes devido ao aumento do escoamento superficial.

3 MÉTODO DE PESQUISA

O capítulo anterior apresentou por meio da revisão da literatura, uma abordagem sobre a impermeabilização dos solos e a drenagem urbana como estratégias para melhoria de técnicas de gestão do ambiente urbano. Este capítulo apresenta o método de pesquisa escolhido, explica as etapas preparatórias do trabalho desenvolvido e a estratégia de análise adotada.

3.1 DEFINIÇÃO DO MÉTODO ADOTADO

Dentre as estratégias de pesquisa existentes, foi selecionado o estudo de caso, com base nas bibliografias de Yin (2001), Robson (2002), Cruz e Ribeiro (2003) e Gil (2009).

Segundo Yin (2001), o estudo de caso é uma estratégia utilizada para examinar acontecimentos contemporâneos dentro de um contexto da vida real, entretanto não se pode manipular comportamentos relevantes. De acordo com Cruz e Ribeiro (2003), o objetivo deste tipo de pesquisa é buscar compreender a forma como se processam os fenômenos observáveis, ao descrever sua estrutura e funcionamento. Tenta-se conhecer e explicar fenômenos que ocorrem no universo percebido pelo homem, com o propósito de descobrir respostas a questões propostas.

Dentre as estratégias analíticas gerais apresentadas por Yin (2001), o estudo de caso se baseia na estrutura descritiva, a fim de organizar o estudo. Reflete o conjunto de questões da pesquisa, as revisões feitas na literatura sobre o assunto e as novas interpretações que possam surgir (YIN, 2001). O objetivo de utilizar a estratégia de pesquisa selecionada foi gerar um conjunto de idéias, que se organizam em um sistema, a fim de apresentar uma técnica de avaliação do meio urbano que dialoga com sua realidade.

3.2 UNIDADE DE ANÁLISE

Nesta pesquisa a unidade de análise é o solo urbano, lido na forma de quarteirões e lotes, e representado pelo recorte do perímetro de um bairro localizado na malha urbana de Curitiba. O critério para leitura dos quarteirões e lotes exclui o sistema viário e prioriza a impermeabilização nos lotes do perímetro selecionado, onde se exige uma taxa de permeabilidade mínima. O objetivo é analisar a taxa de impermeabilização dos solos dos lotes desse bairro.

Para alcançar o objetivo da dissertação foi definida uma estratégia de desenvolvimento de pesquisa.

3.3 ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para elaborar a pesquisa, primeiramente foram definidos o problema, o objetivo e o pressuposto. Foi elaborada a revisão bibliográfica utilizando livros, artigos científicos, teses e leis.

Após a revisão bibliográfica ficou definido que o estudo de caso seria a estratégia de pesquisa mais apropriada para ser adotada. Com isso, definiu-se o parâmetro urbanístico como objeto de discussão, a porção urbana a ser estudada, a seleção dos métodos de análises de dados e as áreas específicas para que esses métodos fossem aplicados. As informações coletadas, trabalhadas e analisadas permitiram chegar a um resultado final.

O fluxograma da pesquisa está representado, esquematicamente, na FIGURA 3.1.

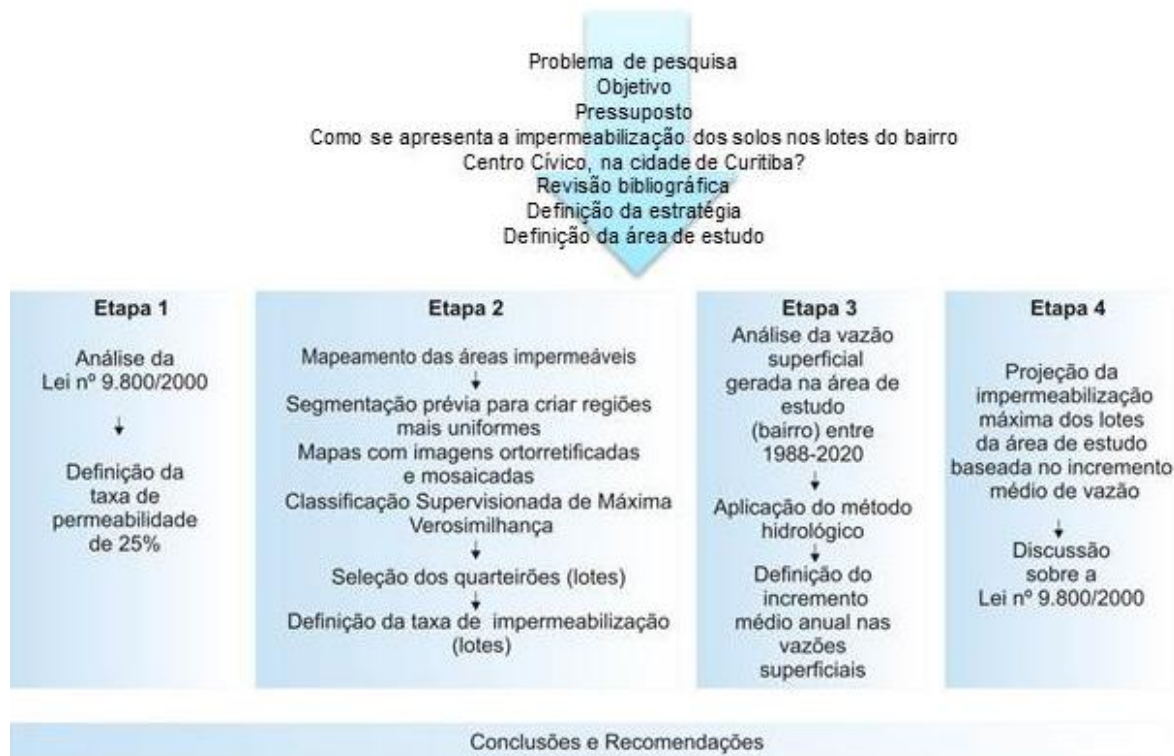


FIGURA 3.1 – FLUXOGRAMA DA PESQUISA

3.4 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO ESTUDO DE CASO

3.4.1 Critérios para seleção da porção urbana onde foi realizado o estudo de caso

A área selecionada para pesquisa é um bairro de importância histórica, paisagística e urbanística, parte integrante da cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná. A cidade está localizada entre as coordenadas geográficas 25° 25' 48" de Latitude Sul e 49° 16' 15" e de Longitude Oeste (PARANACIDADE, 2011), sendo o estudo piloto composto pelo recorte do bairro do Centro Cívico. A área foi selecionada pelos seguintes motivos:

- a) Por se localizar em Curitiba. A cidade se destaca pelo planejamento urbano no País. Algumas contribuições importantes implantadas na cidade foram o Sistema Viário Trinário, o Plano Massa e a Rede Integrada de Transportes. Apesar de dados favoráveis e desfavoráveis de conotação de cidade modelo, o saldo final é positivo, emergindo Curitiba como a cidade

com melhor qualidade de vida do País (OLIVEIRA, 2000). O modelo de crescimento urbano baseado no transporte público é a espinha dorsal da urbanização, que proporcionaram a cidade benefícios ecológicos e sociais (RUANO, 2007).

- b) Pela condição social da população do bairro. Segundo Oliveira (2000), Curitiba apresenta uma situação privilegiada com base na condição social de sua população. Com relação ao bairro, a renda média do chefe de família é de quase 2.900 reais por mês. A maioria dos habitantes com idade média de 38 anos recebe mais de 20 salários mínimos ao mês. Isso significa que dentre os 75 bairros do município, o Centro Cívico ocupa a 11ª posição com relação à renda por chefes de domicílio. A parcela de habitantes que recebe mais de 3 salários no bairro é de 94,69%, enquanto que em Curitiba este número é de 76,90% (IPPUC, 2000).
- c) Pela localização estratégica, pois se encontra a montante do Centro da Cidade, que é uma área de alta densidade demográfica, com áreas altamente impermeabilizadas (FENDRICH, 2002);
- d) Por ser uma área que apresenta índices crescentes de impermeabilização dos solos em decorrência da ocupação urbana. O bairro está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Belém. A bacia apresenta as maiores densidades demográficas do município (IPPUC, 2010). A taxa de impermeabilização máxima dos solos da bacia foi prevista para 2020 (FENDRICH, 2002);
- e) Pela importância histórica e política. O bairro é o centro dos poderes Legislativo, Executivo e Judiciário do estado do Paraná e tem a sede do Poder Executivo Municipal. O urbanista francês Alfred Agache concebia o Centro Cívico como a sala de visitas da cidade (FENIANOS & JUNG, 1998; LIMA, 2000);
- f) Pela densidade de ocupação. O Centro Cívico é uma área de média densidade demográfica e fica próximo ao eixo de adensamento da Av. João Gualberto (Setor Especial Estrutural Norte), por onde passa um trecho do seu perímetro. Nos eixos estruturais, como a Av. João Gualberto, o adensamento é incentivado pela lei que dispõe sobre o zoneamento urbano de Curitiba. A densidade demográfica está diretamente relacionada à impermeabilização dos solos e,

consequentemente, a maior probabilidade de enchentes (CAMPANA & TUCCI, 1994).

- e) Pela existência de área crítica sujeita a ocorrência de enchente. Uma das questões levantadas pelo Plano de Drenagem para a Bacia do Alto Rio Iguaçu (2002) são os pontos críticos de enchentes. Através da pesquisa foi realizada a definição da mancha dos locais críticos de enchentes, pela SUDERHSA, atual Instituto das Águas do Paraná, junto à Prefeitura Municipal de Curitiba;
- f) As enchentes no Centro de Curitiba podem ser agravadas pelo escoamento superficial gerado pelo Centro Cívico. A área de drenagem principal do Centro Cívico converge sua descarga hídrica para o Centro, através do Rio Belém.

3.5 COLETA DE DADOS E INFORMAÇÕES

Segundo análises realizadas por Yin (2001), a coleta de dados e informações é uma das estratégias principais para aumentar a confiabilidade da pesquisa. Ela se destina a orientar o pesquisador na condução do desenvolvimento do estudo de caso.

A realização do estudo de caso partiu dos levantamentos das áreas permeáveis e impermeáveis da Bacia Hidrográfica do Rio Belém, apresentados por Fendrich (2002), referentes aos anos de 1988, 1996 e 1999. Uma análise adicional foi realizada com a seleção dos lotes componentes de 36 quarteirões do bairro Centro Cívico, a partir de uma ortofoto de 2007, disponibilizada pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC).

As etapas para realização da pesquisa estão descritas a seguir.

3.5.1 Etapa 1: Análise da Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo de Curitiba (Lei nº 9.800/2000)

Os estudos iniciaram com a análise da taxa de permeabilidade exigida na legislação de Curitiba (Lei nº 9.800/2000) em vigência. Para isto, foi necessária uma

avaliação prévia deste parâmetro urbanístico na lei em que o mesmo constava. Foram encontrados valores de permeabilidade mínima de 25%, 50% e a aplicação do Decreto-Lei nº 176/2007, que trata da contenção de cheias.

Com o levantamento de todas as zonas da cidade e a taxa de permeabilidade estipulada para cada uma delas, notou-se que a taxa de 25% era exigida para a maioria dos lotes do município. O percentual de 25% é o mais amplamente utilizado, pois 92% das zonas definem esse valor. Ao partir da consideração de que o estudo poderia ser mais abrangente, tomou-se a taxa de 25% como valor base para as avaliações.

Ao considerar a exigência legal de ser reservada uma área permeável no lote urbano, como medida que visa assegurar condições ambientais adequadas para a cidade, foi iniciada a análise das taxas de impermeabilização dos solos para a área de estudo.

O próximo passo foi a definição de como analisar a impermeabilização do solo urbano. Para isto tomou-se como base os trabalhos desenvolvidos por Fendrich (2002), na tese de Doutorado: “Coleta, Armazenamento, Utilização e Infiltração das Águas Pluviais na Drenagem Urbana”. O levantamento realizado pelo Autor partiu de imagens digitais obtidas por sensoriamento remoto, assim como no presente trabalho. O Autor constatou que a impermeabilização máxima da Bacia Hidrográfica do Rio Belém, onde se encontra o bairro Centro Cívico, ocorrerá em 2020. Além deste, foram utilizados outros trabalhos realizados por Campana e Tucci (1994), Schueler (1994), Furtini, Ferreira e Sampaio (2007), Yoshikoshi *et al.* (2008), entre outros.

Com as diretrizes estabelecidas foi selecionado o recorte espacial, cujos critérios foram apresentados anteriormente no sub-item 3.4.1. Com a área selecionada, partiu-se para a coleta das bases cartográficas digitais.

3.5.2 Coleta de bases cartográficas digitais do recorte espacial selecionado

A base cartográfica digital para a área de estudo consistiu em uma ortofoto de 2007, disponibilizada pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) e um mapa no formato *dwg.* (*software* AutoCad 2010), disponibilizado pelo banco de dados do Laboratório de Habitação e Urbanismo da Universidade Federal do Paraná (LAHURB). O objetivo de adquirir estas imagens foi com o propósito de

levantar as áreas permeáveis e impermeáveis da porção espacial analisada, bairro Centro Cívico. Com as imagens adquiridas foi realizado o mapeamento das áreas permeáveis e impermeáveis descrito a seguir.

3.5.3 Etapa 2: Mapeamento das áreas permeáveis e impermeáveis

A proposição inicial foi realizar o levantamento a partir de imagens obtidas por sensoriamento remoto.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o sensoriamento remoto é um termo utilizado na área das ciências aplicadas que se refere à obtenção de imagens à distância, sobre a superfície terrestre. As imagens são adquiridas através de aparelhos denominados sensores remotos. Por sua vez, estes sensores ou cameras são colocados a bordo de aeronaves ou de satélites de sensoriamento remoto - também chamados de satélites de observação da Terra. O sensor a bordo do satélite gera um produto de sensoriamento remoto denominado de imagem, ao passo que uma camera aerofotográfica, a bordo de uma aeronave, gera um produto de sensoriamento remoto denominado de fotografia aérea.

O processamento das imagens foi discutido com pesquisadores dos Departamentos de Hidráulica e Saneamento, de Geomática e de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Paraná. Com a técnica definida, se recorreu à parceria existente do grupo de pesquisa Cidade, Meio Ambiente e Políticas Públicas, do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, da qual a Autora é integrante, com pesquisadores da área de Geomática. A parceria teve o objetivo de aprimorar os resultados finais da pesquisa como uma maneira de agregar legitimidade ao projeto.

Como visto, para o levantamento das áreas permeáveis e impermeáveis foram utilizadas fotografias aéreas digitais fornecidas pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC (2007). Tais imagens já estavam ortorretificadas, ou seja, já haviam passado por processos de correção geométrica, visando minimizar as distorções devidas ao relevo. Com duas fotografias referentes ao ano de 2007, fez-se o mosaico, de modo a obter uma única imagem, na qual foi contornado o bairro Centro Cívico. Em seguida, fez-se o recorte em cada imagem, restringindo a análise ao bairro em questão. Neste momento, foram obtidas as

imagens devidamente ortorretificadas e mosaicadas, prontas para o início da classificação.

Visando facilitar este processo, optou-se por submeter tais imagens a uma segmentação prévia. Esta foi realizada no *software* livre denominado *Edge Detection and Image Segmentation* (EDISON), através da segmentação *mean-shift* de deslocamento de médias espectrais, de onde se obteve uma imagem simplificada, com regiões mais uniformes.

Após esta etapa, foi iniciado o processo de classificação, o qual foi realizado no *software* livre MULTISPEC, pelo Método de Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança. Este trabalho utilizou dados de estudos feitos por Fendrich (2002). Por isso, o mesmo método de classificação foi utilizado para dar continuidade aos resultados obtidos anteriormente, buscando minimizar as distorções nos resultados.

O Método de Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança utiliza conceitos de probabilidade e estatística para definir a qual classe cada *pixel* tem maior probabilidade de pertencer. A classificação é dita supervisionada, pois o usuário define quais as classes que deverão constar no mapa temático final. Para isso, ao definir as classes desejadas, o usuário também define amostras de cada uma destas classes. As classes foram definidas através da análise visual da ortofoto desta área urbana, totalizando oito. Estas oito classes são predominantes na cena em questão e foram agrupadas da seguinte forma:

- a) árvores;
- b) pavimentos;
- c) gramados;
- d) asfaltos;
- e) rios;
- f) telhados;
- g) coberturas;
- h) solos.

Como destacado por Campana e Tucci (1994) é importante salientar que a grande variedade de materiais presentes em cenas urbanas é uma situação que se pode traduzir em erros no processo de classificação. Além desse fato, existem materiais que apresentam aproximadamente o mesmo comportamento espectral, o que dificulta, também, o processo de classificação.

Definidas as classes e suas respectivas amostras, o *software* realiza a classificação de todos os *pixels* da imagem. Assim, foram obtidos os mapas temáticos, mostrados na FIGURA 4.12 (p. 77). Foram desenvolvidos dois mapas temáticos do bairro Centro Cívico. O primeiro, com as classes das coberturas do solo (FIGURA 4.12, mapa a). O segundo, com as classes permeável e impermeável do bairro Centro Cívico (FIGURA 4.12, mapa b).

Com a classificação sabe-se quantos *pixels* pertencem a cada classe. Assim, multiplicando o número de *pixels*, em cada classe, pela área que o *pixel* ocupa no solo (resolução espacial), se obtém a área ocupada por cada tipo de cobertura do solo, bem como os totais de áreas permeáveis e impermeáveis (ARAKI, WALTER & SILVA, 2011).

Após a classificação da imagem digital, foram selecionados apenas os quarteirões do bairro Centro Cívico. A seleção teve como objetivo priorizar a ocupação dos lotes, pois considera a taxa de permeabilidade de 25%. Para isto, foram retiradas as áreas do sistema viário e do leito do Rio Belém.

A próxima etapa consistiu na definição da porcentagem de impermeabilização de cada quarteirão da porção analisada. Com estes valores, obteve-se um valor médio de impermeabilização total dos lotes. O objetivo seguinte foi estimar o ano da taxa de impermeabilização máxima para os lotes do bairro considerando a taxa de permeabilidade imposta na legislação municipal. Para isto, tomou-se como base o incremento médio anual da vazão superficial da área de estudo.

3.5.4 Etapa 3: Definição do incremento médio anual das áreas impermeáveis

A definição do incremento médio anual partiu da análise da evolução das áreas impermeáveis do trabalho realizado por Fendrich (2002). O Autor fez a quantificação das superfícies impermeáveis de diversos bairros de Curitiba, inclusive do bairro Centro Cívico. Ele levantou a área impermeável do bairro dos anos de 1988, 1996, 1999 e foram feitas previsões para os anos de 2010 e 2020. Com estes dados foi possível determinar o incremento médio anual através do cálculo de vazões superficiais, utilizando o método hidrológico selecionado.

3.5.4.1 Definição do método hidrológico

Dentre os principais métodos hidrológicos utilizados para calcular a vazão superficial (QUADRO 3.1), foi escolhido o Racional.

QUADRO 3.1 – CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MÉTODOS HIDROLÓGICOS PARA CÁLCULO DE VAZÕES SUPERFICIAIS

Método Hidrológico	Principais características	Aplicabilidade no trabalho
Hidrograma Unitário de Snyder	Leva em consideração a área impermeável do início e do fim do projeto	O trabalho leva em consideração apenas a área de início
	Calculam-se as perdas por infiltração, interceptação e acumulação em depressões	
Hidrograma Unitário Sintético Triangular	Não leva em consideração a área impermeável da bacia. Só se refere à chuva	A área impermeável da bacia é a principal característica que foi analisada. O objetivo é relacionar vazão com volume de escoamento superficial
	Relaciona vazão com velocidade, por meio do tempo de concentração	
Ven Te Chow	Estima o coeficiente de escoamento de deflúvio com relação à região do terreno (características de solo)	O coeficiente de escoamento superficial é medido por sensoriamento remoto. Considera o volume de escoamento superficial da chuva e a intensidade da mesma
	Leva em consideração a altura efetiva da chuva.	
Racional	A intensidade da precipitação permanece constante enquanto durar a chuva	Características que contribuem para facilidade de aplicação: Micro-área de menos de 1 km ² ; coeficiente de escoamento superficial obtido mediante quantificação das áreas impermeáveis da área de estudo
	O cálculo realizado por micro-áreas de drenagem tem menos riscos de incertezas	
	Considera direta a relação entre chuva e escoamento superficial	

NOTA: A partir de dados apresentados por Wilken (1978), Fendrich (2008) e Tucci (2009).

O QUADRO 3.1 mostra os principais métodos hidrológicos utilizados para calcular as vazões superficiais.

A urbanização de uma área de drenagem aumenta o escoamento superficial. O método usualmente utilizado para determinar a vazão máxima nos condutos pluviais de pequenas áreas é o Método Racional (TUCCI, 2000). O Método Racional

foi selecionado por ser aplicável para a área total do estudo de caso ($A < 5 \text{ km}^2$); por ser de fácil aplicação, facilitando a compreensão e comunicação de profissionais, muitas vezes especializados em diferentes áreas do conhecimento.

O Método Racional, precursor de métodos mais aprimorados para o cálculo de vazão superficial, nasceu da teoria exposta pela primeira vez por Emil Kuichling, em 1889, denominada Teoria Racional, que reconhece como axiomática, ou seja, com aceite sem discussão, a relação direta entre a chuva e o deflúvio, expressa pela equação racional (TUCCI, 2009).

O Método Racional para estimativa do pico de vazão resume-se no emprego da chamada fórmula racional:

$$Q = \frac{CiA}{3,6} \quad (3.1)$$

Onde: Q = pico de vazão (m^3/s);

i = intensidade média máxima da precipitação sobre toda a área drenada, de duração igual ao tempo de concentração (mm/h);

A = área drenada (km^2);

C = coeficiente de escoamento superficial ($C \approx$ área impermeável).

A EQUAÇÃO 3.1 traduz a concepção básica de que a máxima vazão, provocada por uma chuva de intensidade uniforme, ocorre quando todas as partes da bacia passam a contribuir para a seção de drenagem. O tempo necessário para que isso aconteça, medido a partir do início da chuva, é o que se denomina tempo de concentração da bacia (PINTO; HOLTZ & MARTINS, 1973).

O tempo de duração da chuva que corresponde à situação crítica será igual ao tempo de concentração da bacia. O tempo de concentração relativo a uma seção de um curso de água é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação, para que toda bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir na seção de estudo. Corresponde à duração da trajetória da partícula de água que demore mais tempo para atingir a seção de estudo (PINTO; HOLTZ & MARTINS, 1973).

Para utilizar o Método Racional é necessário estimar a intensidade média máxima de precipitação. Porém, para calcular a intensidade máxima de chuva é necessário calcular o tempo de concentração da bacia. O método utilizado foi o do Departamento de Estradas da Califórnia. Estas fórmulas estão detalhadas no item 4.4.1.3 (p. 82).

Com os dados levantados e os cálculos de vazão realizados, chegou-se ao incremento médio de vazão no período compreendido entre 1988 e 2020. Ao considerar este incremento médio anual, foi calculada a projeção da impermeabilização máxima dos lotes.

3.5.5 Etapa 4: Projeção da impermeabilização máxima dos lotes nos quarteirões

Considerando o valor base da taxa de impermeabilização média dos lotes em 2007 e o incremento médio anual de vazão, foram calculadas as áreas impermeáveis médias para 1988, 1996, 1999, 2010, até chegar na taxa máxima, no ano de 2020. A seleção dos anos citados foi baseada nas pesquisas existentes realizadas nestes períodos. Ao comparar a impermeabilização máxima de 75%, apresentada na Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do solo de Curitiba, obteve-se o ano limite da taxa de permeabilidade fixado para os lotes da área de estudo.

As etapas descritas estão detalhadas no Capítulo 4 que trata do estudo de caso.

3.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As principais limitações deste trabalho foram:

- a) A falta de uma ortofoto ou imagem de satélite atualizada da área de estudo. As empresas fornecedoras de imagens e órgãos procurados não possuíam em seus bancos de dados uma imagem integral do recorte espacial. Alguns tinham mapas com vista parcial do recorte.
- b) A classificação da imagem digital por sensoriamento remoto pode apresentar algumas falhas. O motivo é a composição extremamente complexa dos espaços urbanos, constituídos por alvos de diferentes materiais, além de dimensões e espaçamentos reduzidos (CAMPANA E

TUCCI, 1994). As copas das árvores, por exemplo, podem revelar um percentual maior de área permeável do que realmente existe. Além disso, deve-se informar que, natural a todas as fotografias aéreas, existem regiões de oclusão, ou seja, regiões onde não há informação na cobertura do solo. Isto ocorre em regiões localizadas atrás de prédios, sendo proporcionalmente maior conforme a altura do prédio for maior ou ainda, a menor altitude de vôo na tomada das fotografias aéreas. Estas regiões foram consideradas impermeáveis, pois na região oclusa consta a visão do prédio inclinado. Uma vez que no entorno de tais prédios existem muitas ruas, calçadas, e outras áreas impermeáveis, tal consideração é pertinente, não afetando significativamente os resultados.

3.7 ESTRATÉGIAS DE VALIDAÇÃO

Tratando-se de testes de validade, a qualidade da pesquisa leva em conta os seguintes parâmetros, apresentados por Yin (2001) e por Robson (2002):

- a) Validade do constructo: Segundo análise baseada nos estudos de Yin (2001), deverá ser feito um levantamento das principais informações que devem ser investigadas, para que elas possam contribuir com o fundamento da pesquisa. Nesta pesquisa, primeiramente se buscou o embasamento bibliográfico, para verificar o que já foi pesquisado em relação ao assunto. O próximo passo foi a escolha da porção urbana onde, segundo a metodologia de estudo, foi realizado o levantamento das áreas permeáveis e impermeáveis, além das avaliações específicas. A leitura das imagens pelo Método de Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança permitiu encontrar a área impermeável e, conseqüentemente o coeficiente de escoamento superficial. O coeficiente de escoamento superficial dado pela leitura das imagens permitiu a aplicação do Método Racional, que resultou numa visão geral do que está acontecendo num bairro central. A partir disso, chegou-se a um incremento médio anual de vazão e a previsão da taxa de

impermeabilização máxima para o local de estudo, considerando o taxa de permeabilidade imposta em legislação.

- b) Validade interna: A validade interna procura selecionar os tipos específicos de mudanças que devem ser estudadas em relação aos objetivos originais do estudo (YIN, 2001). Seguindo as teorias apresentadas por Robson (2002), a validação interna significa que o trabalho demonstrará que o resultado final obtido derivou do teste aplicado. Mostra que o resultado da pesquisa decorreu do tratamento descrito, e não por outro motivo. Para validar, após o resultado final da pesquisa, é necessário levantar os fatores que poderiam influenciar o resultado. No caso deste trabalho, foi feita uma investigação visando verificar se o aumento das áreas impermeáveis influenciavam no escoamento superficial, cuja validação foi feita através da aplicação de um método hidrológico na área do estudo de caso.
- c) Validade externa: Essa pesquisa buscou a validade externa ao tratar da generalização, onde procurou estabelecer que o trabalho pudesse ser utilizado em outros bairros da cidade e talvez em outras cidades com padrões semelhantes. Segundo Yin (2001), os estudos de caso se baseiam em generalizações, onde o pesquisador está tentando generalizar um conjunto particular de resultados a alguma teoria mais abrangente.

O levantamento a partir de sensoriamento remoto associado ao Método Racional pode ser aplicado em regiões com padrões similares, ressaltando que o método pode ser aplicado em áreas de até 5km².

- d) Confiabilidade: A pesquisa é baseada na utilização de dados adquiridos por meio de fontes confiáveis, sejam artigos científicos, livros ou informações providas de fontes oficiais, que estão documentados na coleta de dados, garantindo a confiabilidade do projeto. O trabalho deverá permitir que outros pesquisadores sejam capazes de produzir resultados semelhantes, se forem seguidos os mesmos procedimentos aqui apresentados. Este estudo pode ser replicado partindo da revisão bibliográfica, legislações e procedimentos de análise como o uso de imagens de sensoriamento remoto, do geoprocessamento e aplicação do método hidrológico. A classificação de áreas impermeáveis vem sendo utilizada por pesquisadores para analisar a qualidade urbana das cidades.

Os métodos utilizados neste trabalho, que tiveram como objetivo de analisar a impermeabilização do solo urbano da área selecionada para estudo foram aplicados separadamente por outros autores. Autores como Campana e Tucci (1994), Centeno *et al.* (2001), Fendrich (2002), Furtini, Ferreira e Sampaio (2009) e Gonçalves, Polidoro e Silva (2009), que utilizaram técnicas a partir de imagens de sensoriamento remoto para realizar a classificação do espaço urbano. Tucci (2000) utilizou o Método Racional para analisar o impacto das superfícies impermeáveis no gerenciamento do espaço urbano e associou o coeficiente de escoamento em função da área impermeável e vazão máxima. Gonçalves, Polidoro e Silva (2009) levantaram o coeficiente de escoamento superficial, que é utilizado juntamente com o Método Racional, assim como no presente trabalho.

4 ESTUDO DE CASO: DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO NO BAIRRO CENTRO CÍVICO

Este estudo contempla a cidade segundo um urbanismo que é entendido como uma disciplina jurídica adaptável e flexível às transformações do espaço urbano (MARTINS, 2000; SECCHI, 2009). O futuro das cidades parece apontar para a fuga de um planejamento urbano tecnocrático¹ passando para um planejamento estratégico, como apresentado por Compans (1999), onde as cidades funcionam em redes e visam incrementar o desenvolvimento econômico local, chegando a soluções mais flexibilizadas e de base social mais consistente. Onde as estratégias levam ainda mais em consideração a qualidade de vida dos atores envolvidos. Atualmente, articula-se o planejamento estratégico com o planejamento participativo, que, segundo Carvalho (2009), é quando o projeto de cidade constrói-se pela ação conjunta dos diferentes atores que produzem o espaço.

Neste capítulo são apresentadas considerações sobre o zoneamento urbano, as enchentes, as legislações utilizadas para desenvolver o estudo de caso e a taxa de permeabilidade dos solos de 25%, contida na Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo do Município de Curitiba (Lei nº 9.800/2000). Esta lei serviu de base para as discussões aqui realizadas sobre a impermeabilização do solo no bairro Centro Cívico. Após, parte-se para considerações sobre a bacia hidrográfica do Rio Belém onde o bairro está inserido.

Após o conhecimento da superfície urbana a ser analisada e do parâmetro urbanístico envolvido, procederam-se análises mais profundas sobre as condições de impermeabilização do solo no bairro. Nesta fase, foram avaliados os índices de área impermeável dos lotes urbanos. A seguir, passa-se para uma apresentação de aspectos da cidade de Curitiba que estão mais diretamente vinculadas ao tema da dissertação.

¹ O planejamento tecnocrático é apoiado em políticas capazes de atender o interesse geral com a adoção de modelos standardizados, tendo por pressuposto um homem universal e com soluções também padronizadas de massa e de grande escala (CARVALHO, 2009).

4.1 ASPECTOS DA CIDADE DE CURITIBA

O estudo de caso foi realizado a partir de um recorte espacial no município de Curitiba, Estado do Paraná. Curitiba possui uma área territorial de 432 km², uma população de 1.751.907 habitantes e é a oitava capital mais populosa do Brasil. No ano 2000, a cidade possuía 1.587.315 habitantes, portanto, a população teve um crescimento de 9,14% em 10 anos. O Brasil cresceu 11% no mesmo período (IBGE, 2010). A FIGURA 4.1 mostra a localização do município na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), sendo que os 14 municípios ao centro (Almirante Tamandaré, Araucária, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Colombo, Curitiba, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Rio Branco do Sul e São José dos Pinhais) formam o Núcleo Urbano Central (NUC), onde se concentra 94,2% da população da RMC. Em Curitiba habitam 57,3% da população da RMC e cerca de 60% da população do NUC (PMC, 2008).

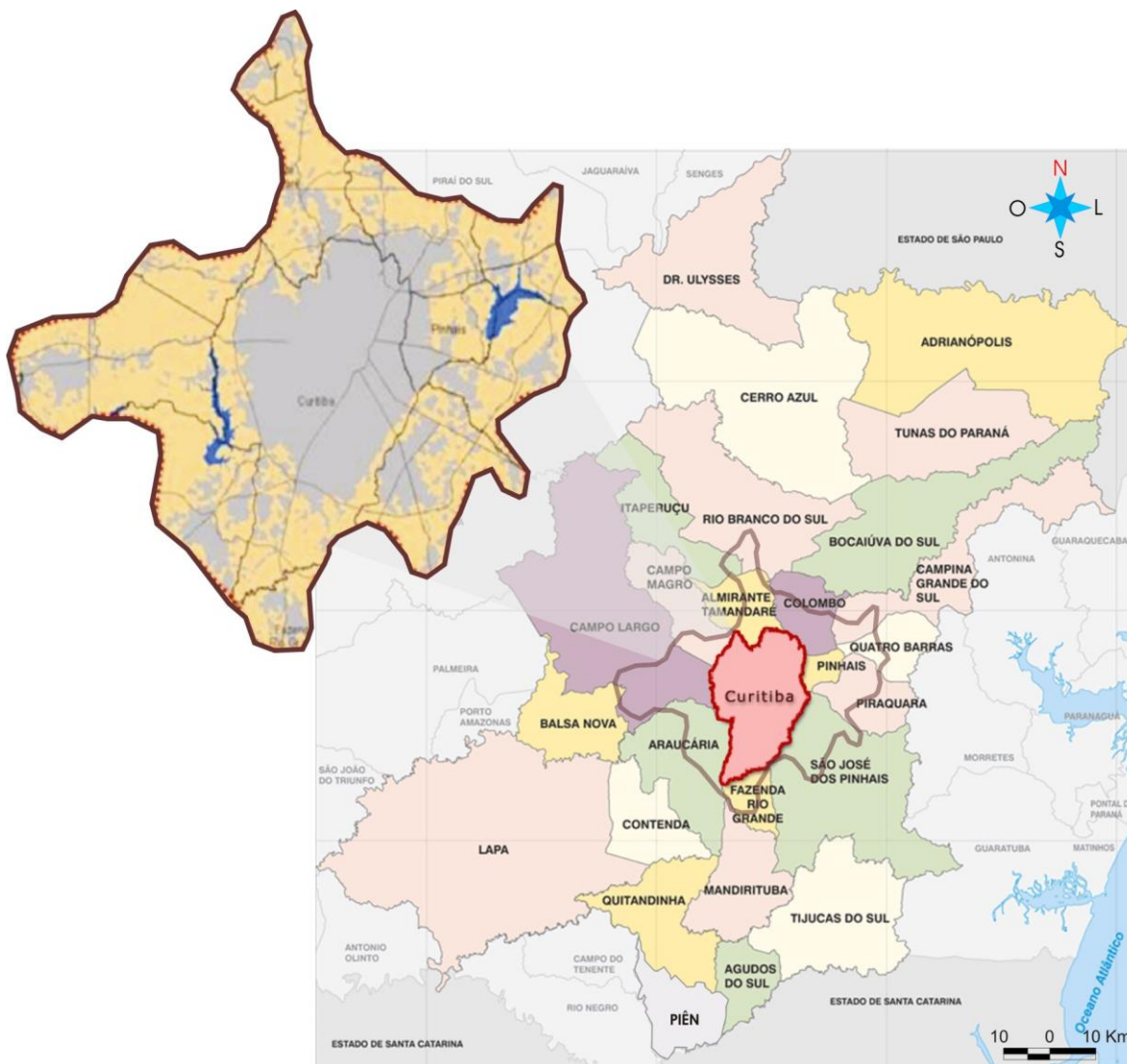


FIGURA 4.1 – LOCALIZAÇÃO DE CURITIBA E NUC NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA
 FONTE: PMC (2008); COMEC (2009)
 NOTA: Adaptada pela Autora (2012)

Para melhor compreensão do universo urbano que este trabalho está se referenciando, é necessário apresentar alguns pontos do planejamento urbano em Curitiba.

4.1.1 Considerações sobre o planejamento urbano de Curitiba: implantação das primeiras diretrizes de zoneamento

Em Curitiba há registros de intervenções de caráter urbanístico e de saneamento anteriores às grandes ações de planejamento do século XX, porém, a história formal do planejamento urbano na capital paranaense se inicia com o Plano Agache, primeiro plano urbanístico de Curitiba, elaborado entre 1941 e 1943. O engenheiro francês Alfred Agache desenvolveu um projeto segundo o qual a cidade tomava uma configuração viária radiocêntrica, constituída por largas avenidas em sentido radial e perimetral, que tinham por objetivo estabelecer vias de ligação entre setores ou áreas especializadas. Seu desenho radial tinha configuração semelhante ao definido pelo Plano Haussmann de Paris (IPPUC, 2010; PDM CURITIBA, 2004, p. 23).

O Plano Agache foi elaborado durante o período da Segunda Guerra Mundial e contou com intervenções urbanas como desapropriações destinadas ao alargamento e à implantação de novos eixos viários, as avenidas, então superdimensionadas para o volume de tráfego existente, e que inclusive deram ao Plano a designação de Plano de Avenidas. A paisagem da cidade passou a ser profundamente marcada pelas intervenções, incluindo a proposta do Centro Cívico, onde foram previstos os Palácios da Prefeitura e do Governo; o bairro industrial do Rebouças; do Parque Lagoa, atual Parque Barigui, à área esportiva do Tarumã; da Cidade Universitária, atual Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), à Área Militar, atual Quartel e Aeroporto do Bacacheri.

O Plano também estabeleceu parâmetros construtivos para as edificações e orientações de ordem sanitária, que iam da criação de novos parques até cuidados com a infra-estrutura. Os aspectos de ordem orçamentária determinariam que o plano fosse parcialmente implantado, em função da insuficiência de recursos de que a Prefeitura dispunha na época (PDM CURITIBA, 2004, p. 24). Em decorrência do Plano Agache, é aprovada a primeira lei com diretrizes de zoneamento em Curitiba, o Código de Posturas, Lei nº 699/1953 (IPPUC, 2010).

4.1.2 O zoneamento urbano: Lei de zoneamento de Curitiba

O zoneamento pretende dar a cada região a melhor utilização em função do sistema viário, da topografia e da infraestrutura existente, através da criação de zonas e setores de uso e ocupação do solo e adensamentos diferenciados (LEI N° 9.800/2000).

No Plano Diretor de Curitiba (2004) em vigor, o zoneamento e o uso do solo definem regras para a construção e para a implantação de atividades socioeconômicas. Estes instrumentos são intensamente utilizados como mecanismo para efetivar o planejamento urbano e para dar contorno às demais políticas públicas. Associam-se à legislação ambiental ou de conservação e caracterizam zonas urbanas específicas para as quais se estabelecem parâmetros de ocupação (PDM CURITIBA, 2004).

A partir das modificações dos anos 1960 e 1970, o papel atribuído ao zoneamento e uso do solo sofre readequação e passa de um mecanismo para orientar a expansão urbana ou um simples instrumento disciplinador para um instrumento de efeito multiplicador, que catalisa e promove o desenvolvimento local. A partir desse entendimento, o planejamento e as ações municipais se concentram em mais duas, entre as diretrizes fundamentais do Plano Diretor: propiciar o equipamento global da cidade nos seus diversos setores de demanda social para consumo coletivo; e deflagrar a industrialização na economia local (PDM CURITIBA, 2004).

A necessidade de ajustar o zoneamento e o uso do solo de forma mais duradoura, de modo a oferecer estabilidade ao mercado imobiliário foi concretizada mediante Lei n.º 5.234, em dezembro de 1975. Entre os ajustes, há disposições que limitam a ocupação e o adensamento nas zonas residenciais periféricas, favorecendo, em contrapartida, maior ocupação nas áreas adjacentes aos eixos estruturais já implantados, onde já havia infra-estrutura disponível.

A legislação urbanística local foi consolidada pela nova Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no ano de 2000 (Lei 9.800/2000). As novas disposições conferiram à cidade uma visão mais metropolitana (PDM CURITIBA, 2004, p. 40). A FIGURA 4.2 destaca a evolução do zoneamento nas leis de Curitiba.



FIGURA 4.2 – EVOLUÇÃO DO ZONEAMENTO NOS INSTRUMENTOS LEGAIS DE CURITIBA

NOTA: Dados extraídos do Plano Diretor do Município de Curitiba (2004)

No caso de Curitiba, o planejamento também considera o processo de urbanização que extrapola seu território e abrange o NUC (FIGURA 4.1).

A Lei 9.800/00 trata do zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Curitiba. O projeto da lei incorporou contribuições apresentadas nos debates realizados com a classe política, entidades de classe, universidades, associações de bairros e técnicos em planejamento urbano, entre outros setores. Após a instituição do Plano Diretor de 1966, esta foi a primeira oportunidade de discussão do planejamento de Curitiba e de definição conjunta do modelo de cidade almejada para o futuro (SECRETARIA MUNICIPAL DA COMUNICAÇÃO SOCIAL, 1999).

A Lei 9.800/00 dispõe sobre a divisão do território do município em zonas e setores e estabelece critérios de uso e ocupação do solo com o objetivo de ordenar o crescimento da cidade. O zoneamento visa adequar o sistema viário, a topografia e a infra-estrutura existente com a ocupação, uso e adensamentos diferenciados. Esta política urbana tem os seguintes objetivos (LEI N° 9.800/2000):

- a) Estímulo à geração de empregos e renda, incentivando o desenvolvimento e a distribuição equilibrada de novas atividades;
- b) Compatibilização do uso do solo com o sistema viário e transporte coletivo;
- c) Incentivo à ocupação ordenada ao longo dos eixos de ligação com os demais municípios da Região Metropolitana de Curitiba (RMC);
- d) Hierarquização do sistema viário, de forma a garantir o efetivo deslocamento de veículos, atendendo às necessidades da população, do sistema de transporte coletivo, bem como o adensamento habitacional e de atividades comerciais e de serviços;
- e) Desenvolvimento e recuperação das áreas periféricas integrando-as ao espaço urbano;

- f) Viabilização de meios que proporcionem qualidade de vida à população, em espaço urbano adequado e funcional e o planejamento integrado às políticas públicas;
- g) Preservação da escala da cidade e de seus valores naturais, culturais e paisagísticos;
- h) Compatibilização das políticas de incentivos à preservação do patrimônio cultural, paisagístico e ambiental;
- i) Participação da comunidade na gestão urbana.

O zoneamento nesta Lei nº 9.800/2000, incorporou uma nova visão de planejamento ao município de Curitiba, com foco na questão metropolitana. A integração de Curitiba com os municípios vizinhos está presente, por exemplo, em medidas como a transformação do trecho urbano da BR-116 – que vai do Bairro Atuba ao Bairro CIC – num eixo de integração e desenvolvimento metropolitano, cruzando em parte a Bacia do Rio Belém, e a criação de um anel de conservação sanitário ambiental, Lei nº 9.805/2000, ao longo das bacias dos rios que drenam a Capital.

Outro importante avanço na Lei nº 9.800/2000 foi a incorporação da taxa de permeabilidade do solo como parâmetro construtivo da lei de zoneamento (VALDUGA, 2010). Antes disto, a permeabilidade do solo apareceu algumas vezes na história do município, mas não para todos os tipos de uso. Em 1976, o Decreto nº 701/1976 apresentava que os recuos e afastamentos deveriam ser arborizados. Em 1995 e 1996, os Decretos nº 971/1995, nº 301/1996 e nº 562/1996, apresentavam uma taxa de impermeabilização máxima de 70% para algumas tipologias de construções.

4.1.3 A taxa de permeabilidade do solo

A taxa de permeabilidade é o percentual mínimo da área do lote onde é proibida a impermeabilização por edificação ou pavimentação (NORMAS DE EDIFICAÇÃO, USO E GABARITO DE BRASÍLIA, 1999).

Em São Paulo, a prefeitura determinava uma taxa mínima de permeabilidade de 15%, porém este valor foi alterado para 20% em 2009. Essa medida visa assegurar,

entre outros aspectos, a infiltração das águas pluviais, a conservação da biodiversidade e a mitigação da formação de ilhas de calor (PORTARIA 156/2009; PMSP, 2009).

Em Colombo, na Região Metropolitana de Curitiba, a taxa de permeabilidade mínima varia de 15 a 33%. Neste município, é considerada impermeável, além das edificações, qualquer área que receba algum tipo de revestimento que impeça a infiltração imediata da água, como calçadas, pavimentações, fossas sépticas e sumidouros, cisternas ou reservatório de acumulação, piscinas e espelhos d'água e coberturas mesmo que removíveis (PREFEITURA MUNICIPAL DE COLOMBO, 2009).

Em Curitiba, a taxa de permeabilidade mínima preponderante é de 25% (lei nº 9.800/2000).

A Portaria SMU nº 24/2002, que trata da orientação para elaboração de projeto de edificação em Curitiba, impõe que na implantação do projeto deve ser indicado o tipo de pavimento permeável a ser utilizado, e são apresentados como exemplos os blocos vazados, a grama e o pedrisco (QUADRO 4.1). As áreas consideradas impermeáveis são, além das edificações, as áreas destinadas a piscinas, acessos de veículos, estacionamentos descobertos e canchas descobertas, estes independentes do tipo de revestimento do piso (DECRETO 176/2007). O QUADRO 4.1 resume as características de permeabilidade exigidas pelo município de Curitiba na atualidade.

QUADRO 4.1 – CARACTERÍSTICAS DE PERMEABILIDADE EXIGIDA PELA PORTARIA SMU Nº 24/2002

Exigências técnicas De permeabilidade	Valores/descrição
Maioria dos casos	
Taxa de permeabilidade	25% de área permeável no lote, demonstrada na implantação, indicando-se o tipo de piso permeável a ser utilizado (ex. blocos vazados, grama, pedrisco).
Ajardinamento	O recuo frontal deverá possuir ajardinamento e apresentar permeabilidade.
Subsolo	
Os pavimentos situados em subsolo destinados ao uso de garagem ou estacionamento poderão ocupar a totalidade da área do terreno, excluídas as áreas do(s) recuo(s) frontal(is) e de permeabilidade mínima.	
Os pavimentos situados em subsolo destinados a outros usos (não mencionado acima) deverão obedecer a taxa de ocupação prevista para a zona, além do(s) recuo(s) frontal(is) e da permeabilidade mínima.	
Posto de abastecimento de combustíveis	
Taxa de impermeabilização	70%
Taxa de permeabilidade	25% (Decreto 212/2007) 5% fica a critério do proprietário do imóvel.

(cont...)

QUADRO 4.1 – CARACTERÍSTICAS DE PERMEABILIDADE EXIGIDA PELA PORTARIA SMU Nº 24/2002

Exigências técnicas De permeabilidade	Valores/descrição
Lava rápido	
Taxa de permeabilidade	Mínimo 1/3 da área do lote, a qual deverá ser demonstrada na implantação indicando-se o tipo de piso permeável a ser utilizado (ex. blocos vazados, grama, pedrisco).
Setor estrutural	
A área permeável no lote deverá ser demonstrada na implantação, indicando-se o tipo de piso permeável a ser utilizado (ex. blocos vazados, grama, pedrisco).	
Via central	25%, podendo ser reduzida com implantação de mecanismos de contenção de cheias.
Vias externas	25%, podendo ser reduzida com implantação de mecanismos de contenção de cheias.
Outras vias	25%
Zona central	
25% podendo ser reduzida, substituída ou complementada, através da implantação de mecanismos de contenção de cheias.	

NOTA: Dados extraídos da Portaria SMU nº 24/2002 e Decretos nº 212/2007 e 176/2007 – em vigor.

No QUADRO 4.2 foram listadas todas as zonas e setores da Lei nº 9.800/2000 e o percentual de permeabilidade estabelecido para cada uma delas no município de Curitiba atualmente.

QUADRO 4.2 – MAPEAMENTO DAS ZONAS E SETORES COM O PERCENTUAL DE PERMEABILIDADE EXIGIDO NA LEI 9.800/2000 – DESTAQUE PARA O BAIRRO CENTRO CÍVICO, ESTUDO DE CASO

Zona	Taxa de permeabilidade		
	25%	50%	Decreto 176/2007 25%
ZONA CENTRAL			X
ZONA RESIDENCIAL DE OCUPAÇÃO CONTROLADA		X	
ZONA RESIDENCIAL 1, 2,3 E 4	X		
ZONA RESIDENCIAL BATEL, ALTO DA GLÓRIA, MERCÊS	X		
ZONA RESIDENCIAL SANTA FELICIDADE	X		
ZONA RESIDENCIAL UMBARÃ	X		
ZONA RESIDENCIAL PASSAÚNA	X		
ZONA DE SERVIÇO 1,2	X		
ZONA ESPECIAL DE SERVIÇOS	X		

(cont...)

QUADRO 4.2 – MAPEAMENTO DAS ZONAS E SETORES COM O PERCENTUAL DE PERMEABILIDADE EXIGIDO NA LEI 9.800/2000 – DESTAQUE PARA O BAIRRO CENTRO CÍVICO, ESTUDO DE CASO

Zona	Taxa de permeabilidade		
	25%	50%	Decreto 176/2007 25%
ZONA DE TRANSIÇÃO DA AV. MAL. FLORIANO PEIXOTO	x		
ZONA DE TRANSIÇÃO NOVA CURITIBA	x		
ZONA DE TRANSIÇÃO BR-116	x		
ZONA INDUSTRIAL	x		
ZONA DE USO MISTO	x		
ZONA ESPECIAL EDUCACIONAL	x		
ZONA ESPECIAL DESPORTIVA	x		
ZONA ESPECIAL MILITAR	x		
ZONA DE CONTENÇÃO		x	
SETOR ESPECIAL ESTRUTURAL- VIA CENTRAL	x		x
SETOR ESPECIAL ESTRUTURAL - OUTRAS VIAS	x		
SETOR ESPECIAL ESTRUTURAL - VIAS EXTERNAS	x		x
SETOR ESPECIAL DA BR-116	x		
SETOR ESPECIAL DA AV. MARECHAL FLORIANO PEIXOTO TRECHO RUA BRÁSÍLIO ITIBERÊ – RUA PASTOR ANTONIO POLITO	x		
SETOR ESPECIAL DA AV. COMENDADOR FRANCO	x		
SETOR ESPECIAL DA AV. PRES. WENCESLAU BRAZ	x		
SETOR ESPECIAL DA AV. PRES. AFFONSO CAMARGO	x		
SETOR ESPECIAL DA RUA ENGENHEIRO COSTA BARROS	x		
SETORES ESPECIAIS CONECTORES - CONECTORAS 1, 2, 3 E 4	x		
SETOR ESPECIAL CENTRO CÍVICO	x		
SETOR ESPECIAL PREFERENCIAL DE PEDESTRES			x
SETOR ESPECIAL COMERCIAL – SANTA FELICIDADE E UMBARÁ	x		
SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA - PÓLO DE INTEGRAÇÃO	x		
SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA - TESTADA PARA A VIA CENTRAL E OUTRAS VIAS	x		
SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA - VIAS EXTERNAS	x		

NOTA: Dados extraídos da Lei nº 9.800/2000

No QUADRO 4.2 nota-se que o percentual de 25% é o mais amplamente utilizado (92%), portanto, as análises e discussões do Trabalho são concentradas nesta porcentagem.

A taxa de permeabilidade requerida para o lote também é apresentada no formulário da Prefeitura Municipal de Curitiba, denominado guia amarela (FIGURA 4.3). Esta guia serve de diretriz para os profissionais de Engenharia e de Arquitetura, pois

apresenta os parâmetros urbanísticos que devem ser obedecidos ao projetar uma edificação.

Parâmetros da Construção	
Coefficiente de Aproveitamento	1,0.
Taxa de Ocupação	50%.
Taxa de Permeabilidade	25%.
Densidade máxima	80 HABITAÇÕES /HA, PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES E HABITAÇÕES UNIFAMILIARES EM SÉRIE, SENDO ADMITIDO 3 HABITAÇÕES EM LOTES DE 360,00 M2.
Altura Máxima	03 PAVIMENTOS. ATENDIDO LIMITE DA ANATEL E AERONAUTICA.
Recuo Frontal	5,00 M. 10,00 M PARA OS USOS COMUNITÁRIOS.
Afastamento das Divisas	FACULTADO ATÉ 02 PAVIMENTOS. PARA O TERCEIRO PAVIMENTO MÍNIMO DE 2,00 M. 2,50 M PARA HABITAÇÃO INSTITUCIONAL.
Estacionamento	OBEDECER O CONTIDO NO DECRETO 582/90.
Recreação	OBEDECER O CONTIDO NO DECRETO 212/07.

FIGURA 4.3 – TAXA DE PERMEABILIDADE EXIGIDA PARA LOTE URBANO NA GUIA AMARELA – VISTA PARCIAL DA GUIA AMARELA

FONTE: PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (2011)

NOTA: A Guia Amarela integral consta nos anexos.

A Lei nº 9.800/2000 estabelece que de acordo com o tipo de atividade e a zona ou setor onde se localiza, a taxa de permeabilidade poderá ser reduzida, substituída ou complementada através de regulamentação específica apresentada pelo Decreto nº 176/2007. Para aprovar o projeto de drenagem, por exemplo, o construtor deve cumprir a taxa de permeabilidade prevista na legislação, do contrário, terá de criar um reservatório de contenção de cheias (QUADRO 4.2). O decreto é utilizado em casos específicos como nos setores estruturais onde a taxa de ocupação interfere na taxa de permeabilidade. A seguir, se analisa esse instrumento legal.

4.1.4 Decreto de Contenção de Cheias de Curitiba (Decreto nº 176/2007)

O Decreto nº 176/2007, que trata de reservatórios de retenção de cheias, foi instituído considerando que compete ao Poder Público tomar medidas preventivas contra as graves consequências das inundações ou alagamentos que ocorrem periodicamente em áreas urbanizadas.

As bacias ou reservatórios de retenção são dispositivos capazes de reter e acumular parte das águas pluviais limitando a vazão de saída. O objetivo é atenuar os efeitos a jusante do escoamento da água durante chuvas intensas aliviando os canais ou galerias responsáveis pela macrodrenagem.

O proprietário deve obedecer essa taxa, caso contrário deve criar um reservatório de retenção de cheias. Nos empreendimentos com área construída igual ou superior a 3.000 m² é obrigatória a implantação de reservatórios de retenção de cheias, independentemente do tamanho da área permeável do terreno. Segundo o decreto, o dimensionamento do volume necessário para o reservatório de retenção deverá ser calculado mediante a aplicação da seguinte fórmula:

$$V = KIA \quad (4.1)$$

Onde: V= volume do reservatório

K = constante dimensional = 0,20

I = intensidade da chuva = 0,080m/h

A = área prevista no § 2º, do artigo 5º, do decreto².

² § 2º Para o dimensionamento do volume do reservatório de retenção onde houver redução da taxa de permeabilidade: a) de 25% até 15% será considerada a área total impermeabilizada no lote; b) abaixo de 15% será considerada para cálculo a área total do terreno, devendo ser mantido o paisagismo no recuo obrigatório do alinhamento predial, exceto nas Zonas de Serviço onde esse é facultado (DECRETO 176/2007).

4.1.5 Enchentes urbanas em Curitiba

O incremento positivo da população e a expansão urbana do município de Curitiba levaram ao aumento da impermeabilização dos solos. As superfícies impermeáveis aceleram a velocidade de escoamento das águas pluviais, sobrecarregando as canalizações de drenagem, aumentando o risco de enchentes (FENDRICH, 2002).

Analizando o aspecto histórico de enchentes em Curitiba, verificou-se uma expansão da cidade nos vales e na confluência de diversos afluentes na margem direita do rio Iguaçu nos séculos XIX e XX. As enchentes foram agravadas pela derrubada de matas ciliares e de florestas nativas de Araucária. A enchente de 21/02/1999 atingiu treze bairros de Curitiba, mostrando que a cidade não estava preparada para enfrentar tais problemas (GEISSLER & LOCH, 2004). A FIGURA 4.4 mostra a enchente que ocorreu no centro da cidade em 1999.



FIGURA 4.4 – ENCHENTE DE 21/02/1999 NA RUA DAS FLORES EM CURITIBA – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVO
FONTE: GAZETA DO POVO (2011)

Em 2002 a SUDERHSA, atual Instituto das Águas do Paraná, disponibilizou o Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Alto Rio Iguaçu, com estudos de

mapeamento de enchentes e medidas de controle de inundações, que incluiu o município de Curitiba.

Em Janeiro de 2011, a Prefeitura Municipal de Curitiba lançou edital para contratação do Plano Diretor de Drenagem do Município. O principal objetivo do trabalho será a fixação de diretrizes urbanas e ambientais para evitar a ocorrência de cheias na Cidade. A elaboração do Plano Diretor de Drenagem será baseada num Termo de Referência elaborado pela equipe de técnicos do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) e das Secretarias de Obras Públicas (SMOP) e do Meio Ambiente (SMMA). O trabalho tem prazo de 18 meses para sua conclusão, contados a partir da contratação, e custo estimado em R\$ 2,9 milhões. O Plano Diretor de Drenagem será o primeiro a ser criado no município, e deverá conter um diagnóstico sobre as condições das bacias hidrográficas inseridas no Município, dos rios Atuba, parte do Alto Rio Iguaçu, Barigui, Belém, Padilhas e Passaúna, e incluir medidas para a preservação das nascentes, melhoria da qualidade da água e reordenamento das ocupações irregulares. Além disso, irá sugerir também medidas para revitalização dos rios, dentro do território curitibano, adequação da estrutura de drenagem, implantação de bacias de contenção e acumulação, monitoramento do lançamento de esgoto e ações de desassoreamento, limpeza e dragagem (IPPUC, 2011).

Para uma melhor compreensão da dinâmica hídrica do recorte de estudo, Bairro Centro Cívico, é necessário conhecer as características da bacia hidrográfica do Rio Belém.

4.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM

O Rio Belém é afluente pela margem direita do Rio Iguaçu. A sua bacia hidrográfica abrange uma extensão territorial de 88 km², sendo a segunda maior de Curitiba e está inteiramente localizada no município. A área da bacia é totalmente urbanizada, e nela está situado o centro urbano da cidade e ocupações residenciais, de comércio e serviços, que apresentam as maiores densidades demográficas da cidade

de Curitiba. As projeções demográficas mostram uma tendência de crescimento demográfico acentuado, estimando-se que a população que era de 642 mil habitantes (DH média = 73 hab/ha) em 1999, chegue a 936 mil habitantes em 2020 (DH média = 106 hab/ha) (SUDERHSA, 2002)

A FIGURA 4.5 destaca a localização da bacia hidrográfica do Rio Belém, no município de Curitiba.

Devido à crescente impermeabilização das áreas de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Belém, decorrente da expansão e urbanização da cidade de Curitiba, a ocorrência de enchentes tem se tornado cada vez mais frequente na bacia desse rio. As principais consequências são a diminuição da capacidade de infiltração das águas provenientes das precipitações pluviais e a elevação dos níveis máximos de água no talvegue principal do rio que se desenvolve segundo a orientação Norte-Sul, atravessando zonas densamente povoadas. A gravidade das enchentes urbanas na bacia hidrográfica do Rio Belém pode ser vista pelo destaque à extravasão das suas margens em dezoito ocasiões diferentes, ao longo da série histórica compreendida entre 1981 e 2012, em trinta anos de observações ininterruptas da Estação Fluviográfica Curitiba Prado Velho, conforme dados do Instituto das Águas do Paraná.

Fendrich (2002) dentre inúmeros de seus estudos, avaliou as condições de impermeabilização dos solos da bacia do Rio Belém. A pesquisa foi realizada a partir de levantamentos das áreas permeáveis e impermeáveis da bacia nos anos de 1988, 1996 e 1999, pela metodologia do Sensoriamento Remoto. A partir desses dados, o Autor constatou que em 1820, a bacia tinha apenas 11,66% de seu território impermeabilizado. Em 2000, o índice se elevou a 82,78%, e a previsão para o ano de 2020 é chegar a 89,80%, onde será constatada a sua impermeabilização máxima. A TABELA 4.1 apresenta esta evolução feita pelo Autor a partir de técnicas do Sensoriamento Remoto e do Geoprocessamento.

TABELA 4.1 – EVOLUÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DOS SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM (A = 88 KM²)

Ano	Sensoriamento Remoto (SR) (%)
1820	11,66
1872	14,73
1890	16,23
1900	18,15
1920	24,31
1940	33,57
1950	39,36
1960	45,92
1970	53,26
1980	61,37
1991	73,16
1996	79,49
2000	82,78
2010	86,69
2020	89,80

FONTE: FENDRICH, 2002

Dentre outras constatações, na discretização da bacia hidrográfica o Autor também verificou que a impermeabilização da bacia contribuiu para aumentar a velocidade do escoamento superficial (TABELA 4.2). Ele tomou como base o evento pluvio-fluviométrico crítico máximo, ocorrido em 21/02/1999, com tempo de recorrência de 33,5 anos, o que significa que foi o pior evento ocorrido dentro da série histórica das observações do Rio Belém, com área de drenagem de 42 km², na Estação Fluviográfica Curitiba Prado Velho.

A TABELA 4.2 demonstra, na coluna 2, as estimativas da taxa de impermeabilização dos solos entre 1820 e 2020. A coluna 3 apresenta o tempo de concentração estimado, ou seja, o tempo que a gota de chuva leva para chegar do ponto mais extremo da bacia até a seção transversal na Estação Fluviográfica Curitiba Prado Velho. Na coluna 4 aparecem os tempos de concentração mínimos para não ocorrer a extravasão do rio considerando o volume da água da enchente de 1999, que deverão sofrer retardamento no escoamento pela detenção distribuída das águas pluviais, ao longo de toda a área de drenagem a montante da seção de controle. A coluna 5 indica o ano onde a superfície impermeável estava adequada para se atingir o tempo de concentração indicado na coluna 4.

TABELA 4.2 - EFEITO DA DETENÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DO RIO BELÉM (A = 42KM²)

Ano	Área impermeável (%)	Tempo de concentração calculado (min)	Tempo de concentração (min) ¹	Ano ²
1820	11,04	165		
1980	57,64	68	81	1965
1981	58,84	67	80	1966
1982	60,24	67	79	1967
1983	61,68	66	78	1968
1984	62,98	65	77	1969
1985	64,54	64	76	1970
1986	66,37	63	75	1971
1987	67,80	62	74	1972
1988	69,25	61	73	1973
1989	69,75	61	73	1973
1990	70,24	61	72	1974
1991	70,24	61	72	1974
1992	71,23	60	72	1975
1993	71,73	60	71	1976
1994	72,23	60	71	1976
1995	72,72	60	71	1977
1996	73,22	59	71	1977
1997	76,70	58	69	1978
1998	77,15	58	69	1979
1999	77,59	57	68	1980
2000	78,04	57	68	1980
2001	78,49	57	68	1980
2010	82,92	55	66	1983
2020	86,64	53	64	1985

¹ Tempo de percurso ideal para gota de chuva com detenção distribuída das águas pluviais.

²Ano onde a área permeável era compatível com o tempo de concentração mínimo.

FONTE: FENDRICH (2002)

Os resultados obtidos pelo Autor demonstraram que em 1820 uma gota de chuva, ao cair no ponto mais afastado da bacia, levava 165 minutos para passar pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), no bairro Prado Velho, local da Estação Fluviográfica Curitiba Prado Velho. A área impermeável em 1820 era de 11,04%.

Em uma projeção para 2020, o tempo de trajeto da mesma gota, numa chuva idêntica, é de 53 minutos. Seriam necessários mais 11 minutos de retardamento para não ocorrer enchente na Estação Fluviométrica mencionada, e a área impermeável dos solos, deveria ser equivalente ao ano de 1985 (TABELA 4.2), isto é, de 35 anos atrás.

4.2.1 Características do solo da bacia hidrográfica do Rio Belém para fins da temática em pauta

A porosidade do solo é constituída pelo espaço poroso que, após o arranjo dos componentes da parte sólida do solo, em condições naturais, é ocupada por água e ar. As areias retêm pouca água, porque seu grande espaço poroso permite a drenagem livre da água dos solos. As argilas absorvem, relativamente, grandes quantidades de água e possuem espaços porosos menores. Os solos argilosos (e aqueles com alto teor de matéria orgânica) retêm mais fortemente a água que os solos arenosos (EMBRAPA, 2000).

A textura do solo refere-se à proporção relativa em que se encontram em determinada massa de solo os diferentes tamanhos de partículas. Refere-se, especificamente, às proporções relativas das partículas ou frações de areia, silte e argila na terra fina seca ao ar. É a propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo. Esta característica tem influência direta na taxa de infiltração de água. Os solos são agrupados em três classes de textura (EMBRAPA, 2000):

- a) Solos de Textura Arenosa (Solos Leves) - Possuem teores de areia superiores a 70% e o de argila inferior a 15%; são permeáveis, leves, de baixa capacidade de retenção de água, o que ocasiona uma alta taxa de infiltração de água no solo, e de baixo teor de matéria orgânica.
- b) Solos de Textura Média (Solos Médios) - São solos que apresentam certo equilíbrio entre os teores de areia, silte e argila. Normalmente apresentam boa drenagem, boa capacidade de retenção de água e índice médio de erodibilidade.
- c) Solos de Textura Argilosa (Solos Pesados) - São solos com teores de argila superiores a 35%. Possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água.

Em Curitiba se reconhece uma extensa rede de depósitos sedimentares, preservados ao longo da bacia do Alto Rio Iguaçu e afluentes, sob o nome de Formação Guabirotuba (MINEROPAR, 2001).

Segundo Giusti (1989, p. 38), o solo de Curitiba se caracteriza por ter, em sua grande parte, um baixo coeficiente de armazenamento de água do subsolo. De acordo com a FIGURA 4.6, o solo da bacia hidrográfica do Rio Belém está dividido em 3 regiões: O Complexo Cristalino, a Formação Guabirotuba e os Depósitos Aluvionares. O compartimento Complexo Cristalino³ possui maior capacidade de infiltração da água no solo, as demais áreas estão assentadas nos compartimentos da Formação Guabirotuba e dos Sedimentos Recentes e possuem taxa de permeabilidade baixa. Apesar de apresentarem características totalmente distintas, a Lei nº 9.800/2000 definiu a mesma taxa de permeabilidade (25%) para as 3 regiões dos compartimentos diferenciados.

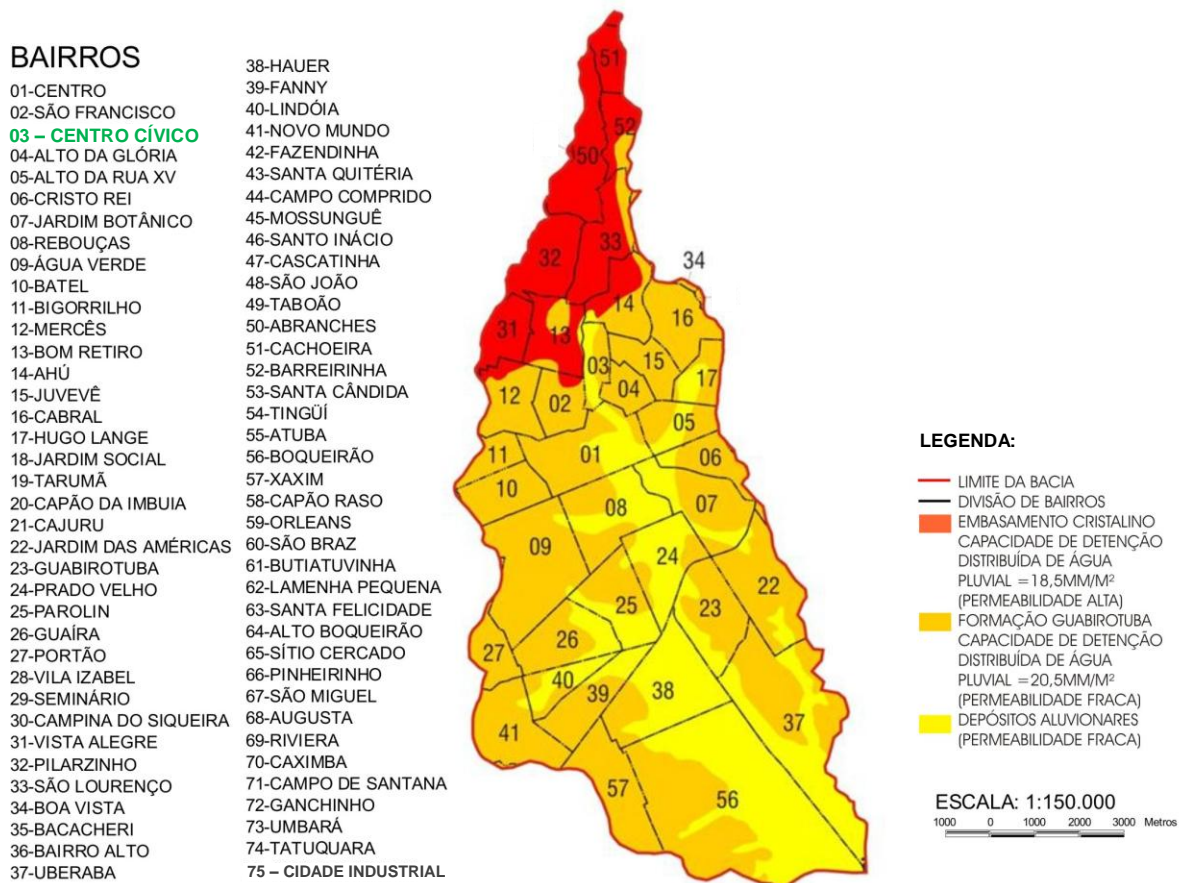


FIGURA 4.6 – COMPARTIMENTAÇÃO LITOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DO RIO BELÉM

FONTE: FENDRICH (2002)

³ O Embasamento Cristalino compreende um megacinturão formado no final do Pré-Cambriano, pela colisão de blocos continentais e microcontinentais (MINEROPAR, 2009).

4.3 ESTUDO DE CASO: BAIRRO CENTRO CÍVICO

Foi selecionado para estudo de caso o bairro Centro Cívico, que é um dos bairros que compõem a bacia hidrográfica do Rio Belém. O nome atual do bairro começou a surgir durante os anos 40, quando o urbanista francês, Alfred Agache, dentro de suas propostas para o novo Plano Urbano de Curitiba, propôs a criação de um Centro Cívico. A idéia era espelhada nos *Civic Centers* americanos. Centro Cívico significa centro do cidadão, ou centro onde se resolvem os assuntos relacionados ao cidadão.

Em 1951, foi iniciada a construção, exatamente, onde o urbanista Alfred Agache havia previsto, no final da Avenida Cândido de Abreu, sendo o primeiro Centro Cívico do Brasil. Projetado pelo arquiteto Xavier Azambuja, foi inaugurado em 1953, ano em que o Paraná comemorou seu centenário de emancipação política de São Paulo (IPPUC, 2010; FENIANOS & JUNG, 1998).

As FIGURAS 4.7 e 4.8 mostram uma visão geral do bairro. Nota-se que a Avenida Cândido de Abreu (FIGURA 4.7), principal via do bairro é uma via arborizada. Na vista aérea da FIGURA 4.8 também se percebe a arborização da via pública. A impermeabilização dos lotes se mostra intensa, pois mesmo os grandes pátios são utilizados como área de estacionamento.

O Centro Cívico está localizado na Região Norte de Curitiba (FIGURA 4.9), faz divisa com os bairros Bom Retiro, São Francisco, Centro, Alto da Glória, Juvevê e Ahú (FENIANOS & JUNG, 1998).



FIGURA 4.7 – CENTRO CÍVICO, AVENIDA CÂNDIDO DE ABREU

FONTE: IPPUC, 2000

NOTA: Foto Cesar Brustolin. Secretaria Municipal de Comunicação Social.

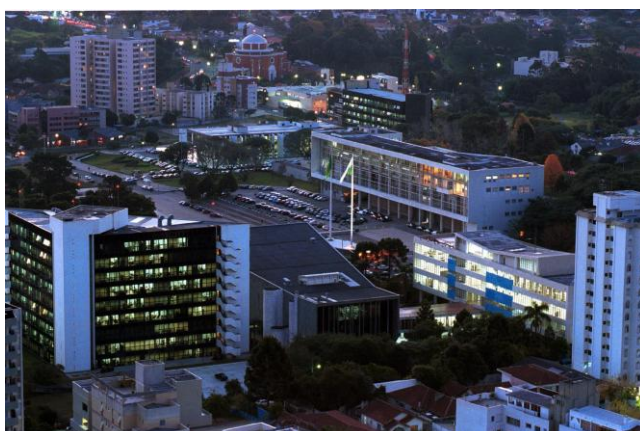


FIGURA 4.8 – CENTRO CÍVICO, PALÁCIO DO GOVERNO ESTADUAL

FONTE: IPPUC, 2000.

NOTA: Foto Nani Gois. Secretaria Municipal de Comunicação Social.

Algumas das principais características do bairro, que foram determinantes para escolha da área para desenvolver o estudo de caso, estão descritas a seguir:

- a) O bairro está localizado na cidade de Curitiba. A cidade se destaca pelo planejamento urbano no País. Algumas contribuições importantes foram o Sistema Trinário, o Plano Massa e a Rede Integrada de Transportes. Apesar de dados favoráveis e desfavoráveis de conotação de cidade modelo, o saldo final é positivo, emergindo Curitiba como a cidade com melhor qualidade de vida do País (OLIVEIRA, 2000). O modelo de crescimento urbano baseado no transporte público é a espinha dorsal da urbanização, que proporcionaram a cidade benefícios ecológicos e sociais (RUANO, 2007);

- b) Pela condição social da população do bairro. Segundo Oliveira (2000), Curitiba apresenta uma situação privilegiada com base na condição social da sua população. Com relação ao bairro, a renda média do chefe de família é aproximadamente 2.900 reais por mês. A maioria dos habitantes, com idade média de 38 anos, recebem mais de 20 salários mínimos ao mês. Isso significa que dentre os 75 bairros do município, o Centro Cívico ocupa a 11ª posição com relação à renda por chefes de domicílio. A parcela de habitantes que recebe mais de 3 salários no bairro é de 94,69%, enquanto que em Curitiba este número é de 76,90% (IPPUC, 2000);
- c) O bairro Centro Cívico é cortado por um trecho do Rio Belém (FIGURA 4.9);
- d) Possui importância política/histórica/urbanística, pois é o centro dos três poderes do Estado do Paraná, e abriga a sede da Prefeitura Municipal de Curitiba, além de alguns pontos turísticos da cidade. O urbanista francês Alfred Agache concebia o Centro Cívico como a “sala de visita da cidade” (FENIANOS & JUNG, 1998);
- e) O Centro Cívico é uma área com média densidade demográfica (FIGURA 4.10) que fica próximo ao eixo de adensamento da Av. João Gualberto (Setor Especial Estrutural Norte), por onde passa um trecho do seu perímetro. Nos eixos estruturais, como a Av. João Gualberto, o adensamento é incentivado pela lei que dispõe sobre o zoneamento urbano de Curitiba (Lei nº 9.800/2000);

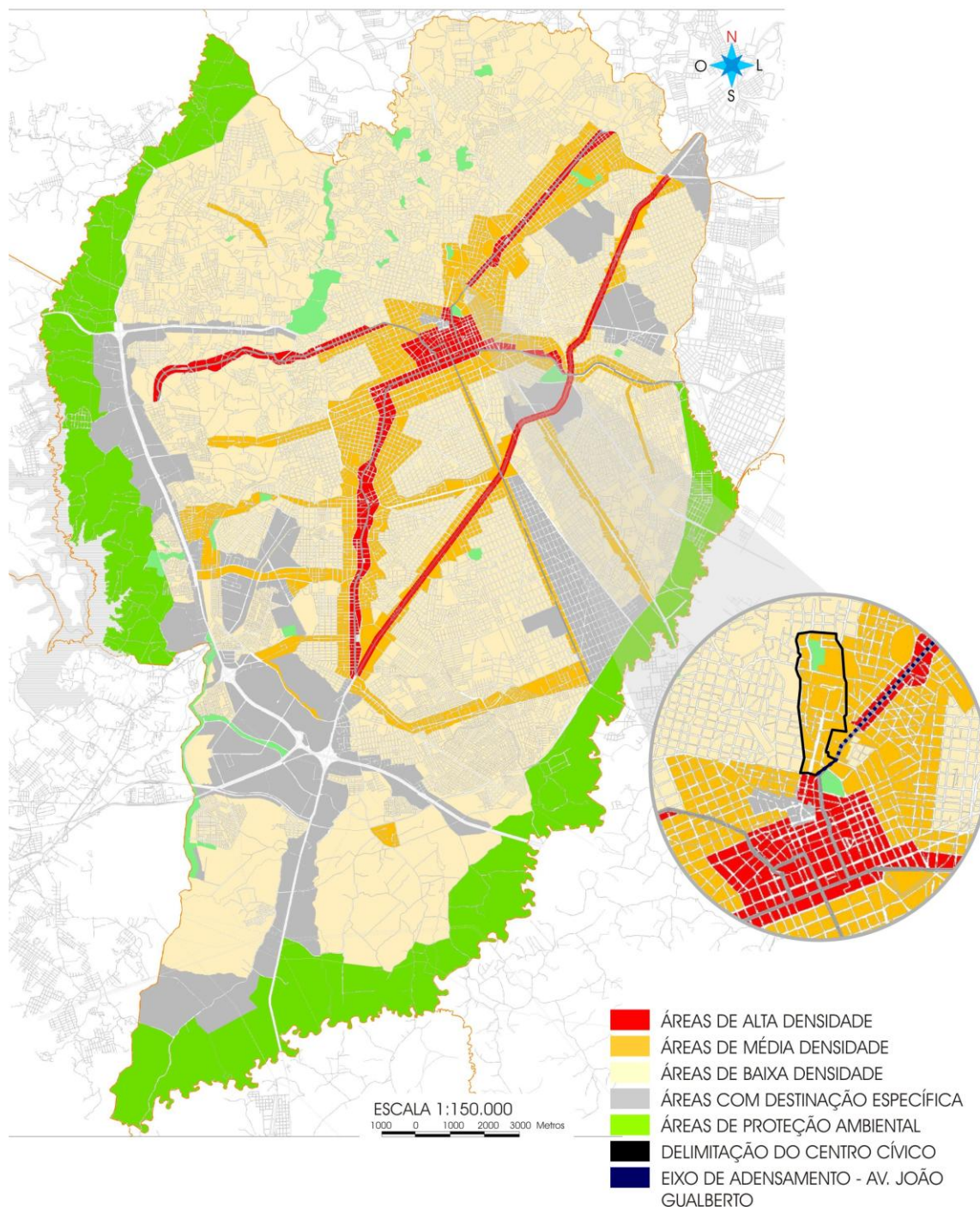


FIGURA 4.10 – DENSIDADES DE OCUPAÇÃO SEGUNDO O PLANO DIRETOR MUNICIPAL (2004)
 FONTE: IPPUC (2004)

- f) Nota-se que o Bairro possui localização estratégica, pois se encontra a montante do Centro da Cidade que é uma área de alta densidade demográfica

(FIGURA 4.10) e com alta taxa de impermeabilização dos solos (FENDRICH, 2002);

g) Por ser uma área que apresenta índices crescentes de impermeabilização dos solos, em decorrência da ocupação urbana. O bairro está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Belém, a qual apresenta as maiores densidades demográficas do município, e provavelmente, da Região Metropolitana de Curitiba - RMC (IPPUC, 2010). A taxa de impermeabilização máxima dos solos da bacia foi prevista para 2020 (FENDRICH, 2002);

h) Uma das questões levantadas pelo Plano Diretor de Drenagem para a bacia do Alto Rio Iguaçu (2002) são os pontos críticos de enchentes. A pesquisa realizada pela SUDERHSA, atual Instituto das Águas do Paraná, junto à Prefeitura Municipal de Curitiba, teve como objetivo levantar esses principais pontos. O resultado demonstrou que o bairro Centro Cívico possui um ponto crítico de enchente (FIGURA 4.11);

4.4 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

4.4.1 IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO OBTIDA POR SENSORIAMENTO REMOTO

4.4.1.1 Mapeamento das áreas permeáveis e impermeáveis

O levantamento das áreas permeáveis e impermeáveis do bairro Centro Cívico iniciou a partir de ortofotos digitais fornecidas pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC, datadas do ano de 2007. A imagem digital do bairro era composta por duas ortofotos que foram agrupadas formando uma única imagem. Com a imagem definida foi iniciada a classificação das tipologias de ocupação.

O método utilizado foi o de Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança. Utilizando este método foram definidas as classes desejadas (árvores, pavimentos, gramados, asfaltos, rios, telhados, coberturas, solos). A definição partiu de uma análise visual da área urbana em estudo. Definidas as classes e suas respectivas amostras, foram obtidos os mapas mostrados na FIGURA 4.12.

O mapa temático (a) da FIGURA 4.12 é composto por oito cores e mostra as classes das coberturas do solo. Após essa fase, foram definidos duas classes gerais, os de áreas permeáveis (cor verde) e outro de áreas impermeáveis (cor cinza) resultando no mapa (b). As amostras para definição da classe permeável foram árvores, gramado e solo. Já para classe impermeável foram pavimentos, asfalto, rios, telhado e coberturas. O resultado é mostrado na FIGURA 4.12.

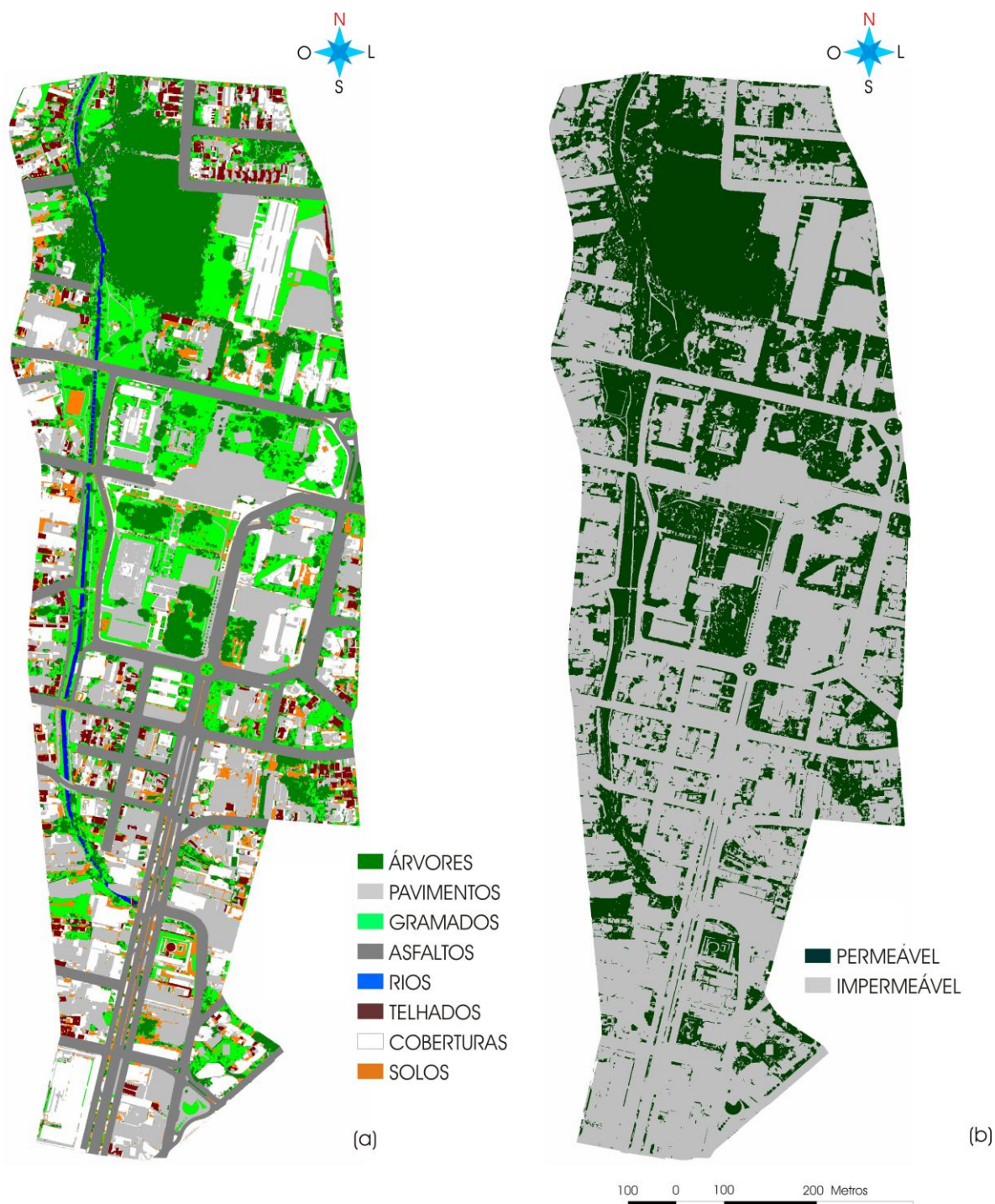


FIGURA 4.12 – MAPA DE ÁREAS PERMEÁVEIS E IMPERMEÁVEIS DO BAIRRO CENTRO CÍVICO, 2007
 FONTE: ARAKI, WALTER & SILVA, (2011)

Posteriormente ao levantamento das áreas permeáveis e impermeáveis do bairro, o mesmo foi discretizado quarteirão a quarteirão, priorizando a ocupação dos lotes, sucedido pela análise da Lei nº 9.800/2000. Para obter a taxa de impermeabilização dos lotes dos quarteirões da área de estudo, foram retiradas as áreas do sistema viário e do leito do rio Belém. A área do bosque foi considerada como um quarteirão, assim como é apresentada no mapeamento do IPPUC. Este quarteirão engloba a área do bosque com as ocupações adjacentes. Os quarteirões foram numerados conforme indicado na FIGURA 4.13.

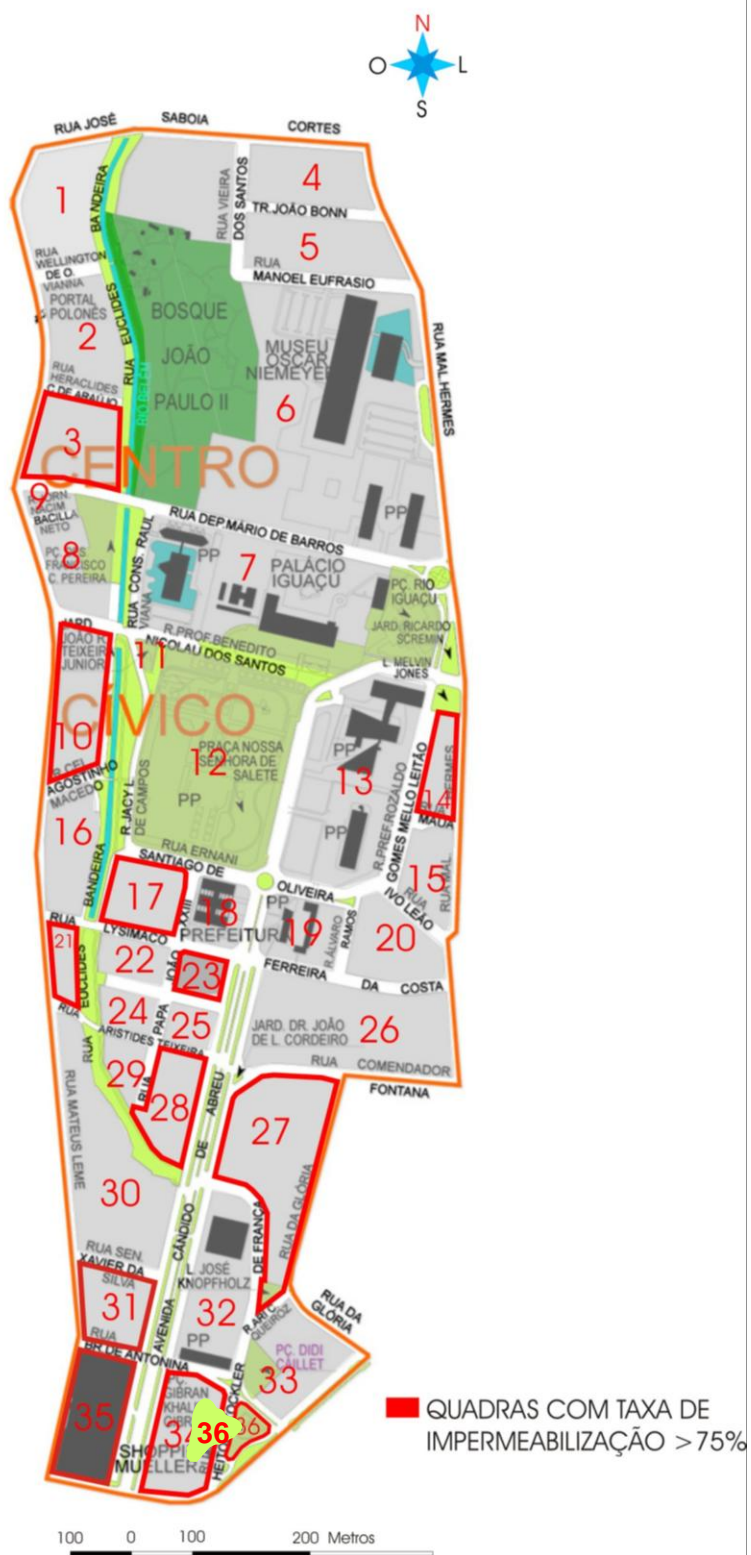


FIGURA 4.13 – CURITIBA – LOCALIZAÇÃO DOS QUARTEIRÕES DO BAIRRO CENTRO CÍVICO.
FONTE: IPPUC (2009). Adaptada pela Autora (2012)

Os dados resultantes das FIGURAS 4.12 e 4.13 foram agrupados na TABELA 4.3, visando facilitar a análise das informações. Na coluna 1 é indicada a numeração dos quarteirões da área de estudo, a coluna 2 apresenta a área do conjunto de lotes de cada quarteirão. A coluna 3 mostra a porcentagem de área impermeável e a coluna 4, a área impermeável do conjunto de lotes de cada quarteirão.

TABELA 4.3 – ÁREA IMPERMEÁVEL DOS LOTES DOS QUARTEIRÕES DO BAIRRO CENTRO CÍVICO (2007)

Nº	Área lotes de cada quarteirão (m²)	% impermeável dos lotes de cada quarteirão	Área impermeável dos lotes de cada quarteirão (m²)
01	15.290,65	62,67	9.582
02	14.877,60	32,58	48.471
03	13.613,19	75,97	10.341
04	13.323,59	72,00	9.592
05	16.419,19	57,17	9.386
06	168.323,60	33,84	56.960
07	53.368,98	41,77	22.292
08	11.649,01	54,02	6.292
09	2.261,96	61,34	1.387
10	13.553,76	79,41	10.763
11	1.065,76	52,40	558
12	54.478,66	42,99	23.420
13	39.441,61	66,99	26.421
14	6.037,38	75,69	4.569
15	8.208,05	69,36	5.693
16	11.677,21	67,04	7.828
17	9.454,88	79,72	7.537
18	6.691,36	69,62	4.658
19	9.354,26	52,33	4.895
20	12.021,29	49,86	5.993
21	3.857,89	83,38	3.216
22	5.244,77	72,13	3.783
23	3.553,13	76,52	2.718
24	4.636,64	70,86	3.285
25	3.648,41	67,08	2.447
26	31.711,22	64,95	20.596
27	27.486,38	76,89	21.134
28	10.164,00	85,38	8.678
29	4.580,26	55,37	2.536

(cont...)

TABELA 4.3 – ÁREA IMPERMEÁVEL DOS LOTES DOS QUARTEIRÕES DO BAIRRO CENTRO CÍVICO (2007)

Nº	Área lotes de cada quarteirão (m²)	% impermeável dos lotes de cada quarteirão	Área impermeável dos lotes de cada quarteirão (m²)
30	30.374,12	70,47	21.404
31	8.707,43	87,79	7.644
32	18.229,15	64,39	11.737
33	14.182,46	53,90	7.644
34	12.684,04	97,11	12.317
35	13.370,56	94,04	12.573
36	1655,76	62,02	1.026,90
Total	675.198,21	Média = 62,11	419.376,90

Da TABELA 4.3 observa-se um valor médio de 62,11%, significando que em 2007, 62,11% da área dos lotes do Bairro Centro Cívico encontravam-se impermeabilizados.

Na coluna 3, os valores de porcentagem marcados em negrito demonstram que 11 dos 36 quarteirões analisados, extrapolaram os 25% de área mínima permeável estipulada pela Lei nº 9.800/2000. Os lotes dos 11 quarteirões assinalados estavam em 2007 com média de 82,86% de sua área impermeabilizada.

Ao dividir a área total dos lotes dos quarteirões selecionados (122.482,65 m²) que ultrapassaram os 75% de área impermeável pela área total (675.198,21 m²) se chegou à conclusão que esses lotes, em 2007, representavam 18% de todos os lotes do Bairro. E ainda, ao dividir a área impermeável desses lotes (101.490,00 m²) pela área total (675.198,21 m²) observa-se que 15% de todos os lotes do Bairro já ultrapassaram a impermeabilização máxima de 75%, conforme a Lei nº 9.800/2000.

4.4.1.2 Incremento nas vazões do bairro Centro Cívico pelo aumento das taxas de impermeabilização dos solos na área de drenagem

4.4.1.3 Vazões geradas no bairro Centro Cívico (1988-2020)

De acordo com Cruz, Tucci e Silveira (1998), o controle considerando o lote, permite a redução de uma parte dos impactos devido à urbanização, já que ainda restam ruas, calçadas e áreas públicas. Com a redução da vazão de saída dos lotes, poderá existir uma economia na rede de drenagem da água pluvial, caso contrário, a situação poderá se inverter.

A prática atual de projetos de drenagem pluvial é o de transportar para jusante todo o excesso de água gerado pela impermeabilização. Desta forma, à medida que o escoamento se desloca para jusante na bacia, este é acrescido de novos aumentos de volume devido à urbanização, resultando em acréscimos significativos na vazão máxima (CRUZ, TUCCI & SILVEIRA, 1998).

Esta análise coloca em foco o motivo das restrições na ocupação do solo urbano. Em lotes com taxa de impermeabilização menor, a vazão e a velocidade de escoamento para o sistema de drenagem, são menores, quando comparadas com lotes com maior impermeabilização dos solos.

Ao utilizar o Método Racional, por meio da Equação (3.1, p. 43), para calcular as vazões no bairro Centro Cívico é necessário estimar a intensidade média máxima da precipitação. Para calcular intensidade média máxima da precipitação é necessário determinar o tempo de concentração da bacia. Para isto, foi utilizado o Método do Departamento de Estradas da Califórnia (FENDRICH, 2008):

$$tc = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (4.2)$$

Onde: tc = tempo de concentração da bacia (min);

H = desnível topográfico da área de estudo (m);

H Centro Cívico = 918,00 – 895, 00 = 23 m

L = comprimento do ponto mais afastado da área de drenagem ao ponto de projeto (km)

$$L_{\text{Centro Cívico}} = 1200 \text{ metros} = 1,2 \text{ km}$$

Ao calcular o tempo de concentração para o bairro Centro Cívico por meio da Equação (4.2), tem-se:

$$tc = 57 \left(\frac{1,2^{0,385}}{23} \right)^{0,385} = 21,04 \text{ min}(= t)$$

Onde: tc, L e H definidos anteriormente.

a) Intensidade Máxima da Chuva para Curitiba

Para Curitiba, a relação Intensidade x Duração x Freqüência, obtida por Fendrich (2003):

$$i = \frac{5.726,64 \times Tr^{0,159}}{(t + 41)^{1,041}} \quad (4.3)$$

Onde: i = intensidade máxima da chuva (mm/h);

Tr = tempo de recorrência (anos);

t = tc = tempo de concentração da bacia (min).

No caso do bairro Centro Cívico, como sua área de drenagem total é pequena ($A = 0,9181 \text{ km}^2$), o tempo de recorrência Tr é para microdrenagem das águas pluviais. Foi utilizado Tr = 3 anos, conforme estipulado pelo Instituto das Águas do Paraná. Ao calcular a intensidade máxima da chuva por meio da Equação (4.3), tem-se:

$$i = \frac{5.726,64 \times 3^{0,159}}{(21,04 + 41)^{1,041}} = 92,81 \text{ mm/h}$$

Onde: i, Tr e t definidos anteriormente.

b) Vazões no Bairro Centro Cívico

Sendo a área de drenagem total 0,9181 km², e considerando o tempo de concentração invariável com o aumento da impermeabilização dos solos do bairro Centro Cívico, as vazões máximas para tempo de recorrência Tr = 3 anos, determinadas por meio da Equação (3.1, p.43), para o período entre 1988 e 2020. A área impermeável foi obtida através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para os anos de 1988, 1996 e 1999. Foram realizadas projeções para o ano de 2010 e 2020, sendo assim, tem-se:

$$Q(\text{ano}1988) = \frac{0,71 \times 92,81 \times 0,9181}{3,6} = 16,80 \text{ m}^3/\text{s} = 16,8 \text{ l0L/s}$$

$$Q(\text{ano}1996) = \frac{0,74 \times 92,81 \times 0,9181}{3,6} = 17,51 \text{ m}^3/\text{s} = 17,5 \text{ l0L/s}$$

$$Q(\text{ano}1999) = \frac{0,76 \times 92,81 \times 0,9181}{3,6} = 18,00 \text{ m}^3/\text{s} = 18,0 \text{ l0L/s}$$

$$Q(\text{ano}2010) = \frac{0,83 \times 92,81 \times 0,9181}{3,6} = 19,64 \text{ m}^3/\text{s} = 19,6 \text{ l0L/s} = Q(\text{ano } 2007)^4$$

$$Q(\text{ano}2020) = \frac{0,92 \times 92,81 \times 0,9181}{3,6} = 21,78 \text{ m}^3/\text{s} = 21,7 \text{ l0L/s}$$

Onde: Q, C, i e A definidos anteriormente.

Dos valores acima, indicados em Fendrich (2002), destaca-se que a previsão da vazão para o ano de 2010, já foi alcançada em 2007, levando a acreditar que a impermeabilização máxima dos solos no bairro Centro Cívico será atingida antes do ano previsto, em 2020.

⁴ A projeção realizada para o ano de 2007 neste trabalho confirma a previsão feita por Fendrich (2002) para o ano de 2010.

O acompanhamento dos índices de escoamento superficial do bairro ora em estudo (iniciando no ano de 1988 e uma extrapolação), demonstram que em, 32 anos, haverá um aumento de 30%, ou seja, praticamente um incremento médio de 1% ao ano. Ao considerar este aumento anual de 1%, foi calculada a projeção da impermeabilização máxima dos lotes, considerando a taxa de 75% da Lei nº 9.800/2000, conforme a TABELA 4.4.

TABELA 4.4 – PROJEÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO MÁXIMA DOS LOTES DO BAIRRO CENTRO CÍVICO

Ano	Área impermeável média dos lotes (%)	Área impermeável dos lotes de cada quarteirões (m²)
1988	50,31	338.859,21
1996	55,28	372.334,27
1999	57,14	384.862,16
2007	62,11	419.376,90
2010	63,97	430.865,10
2020	70,18	472.692,10

Os cálculos na TABELA 4.4 foram baseados nos dados de 2007, considerando o valor base de 62,11%. Considerando o incremento anual de 1% na taxa de impermeabilização média dos solos, obtiveram-se os valores indicados na TABELA 4.4. Os dados calculados e analisados mostraram que em 2020 será constatada a impermeabilização média máxima para os lotes no Bairro Centro Cívico.

Ao aplicar o Método Racional, para área impermeável média dos lotes (TABELA 4.4), por meio da Equação (3.1), tem-se:

$$Q(ano1988) = \frac{0,50 \times 92,81 \times 0,3389}{3,6} = 4,37 m^3 / s = 4,3 l8L / s$$

$$Q(ano1996) = \frac{0,55 \times 92,81 \times 0,3723}{3,6} = 5,28 m^3 / s = 5,2 l0L / s$$

$$Q(ano1999) = \frac{0,57 \times 92,81 \times 0,3849}{3,6} = 5,66 m^3 / s = 5,6 l0L / s$$

$$Q(ano2007) = \frac{0,62 \times 92,81 \times 0,4183}{3,6} = 6,69 m^3 / s = 6,6 l0L / s$$

$$Q(\text{ano}2010) = \frac{0,64 \times 92,81 \times 0,4309}{3,6} = 7,11 m^3 / s = 7.1 l0L / s$$

$$Q(\text{ano}2020) = \frac{0,70 \times 92,81 \times 0,4727}{3,6} = 8,53 m^3 / s = 8.5 l0L / s$$

O próximo passo foi analisar o incremento da vazão ao comparar a situação atual média dos lotes mais impermeabilizados (82,9%, destacados na TABELA 4.3) com a área impermeável de 75%, conforme consta na Lei nº 9.800/2000. Ao calcular por meio da Equação (3.1), tem-se:

$$Q(\text{ano}2007) = \frac{0,83 \times 92,81 \times 0,1015}{3,6} = 2,2 m^3 / s = 2.2 l0L / s$$

$$Q(\text{ano}2007) = \frac{0,75 \times 92,81 \times 0,101592}{3,6} = 1,918 m^3 / s = 1.960 l0L / s$$

Nota-se que a diferença na vazão foi de 240l/s, valor este que significa um aumento de 11% na vazão originada somente pelos lotes do Bairro Centro Cívico.

As avaliações de vazão associada à impermeabilização dos solos do Bairro Centro Cívico permitiram analisar o impacto quantitativo das ações antrópicas sobre a bacia hidrográfica, em decorrência da sua urbanização.

Os estudos realizados no bairro Centro Cívico demonstraram que as taxas de área impermeável, assim como os índices das vazões apresentaram um incremento positivo entre 1988 e 2020 (previsão), quando a taxa de impermeabilização dos solos será máxima. Este incremento altera o volume do escoamento superficial e pode promover o desencadeamento de enchentes nos vales receptores a jusante, principalmente no Centro da Cidade de Curitiba. Todo o contexto urbano faz parte de uma rede interligada e há convergência de toda descarga hídrica, da área de drenagem principal do bairro Centro Cívico, para o Centro através do Rio Belém, além de todos os outros bairros situados a montante do Centro da cidade de Curitiba, na direção Norte-Sul do talvegue do Rio Belém.

Mesmo que o estudo de caso tenha se restringido a um bairro da cidade de Curitiba, a área impermeável está aumentando em toda a bacia hidrográfica do Rio Belém, e é muito provável que esteja acontecendo em outros bairros do Município.

De acordo com as análises realizadas, torna-se necessária a revisão dos parâmetros urbanísticos de permeabilidade vigentes (Lei nº 9.800/2000). A fiscalização efetiva das áreas permeáveis dos lotes é um dos pontos que necessitam de aperfeiçoamento, pois a impermeabilização máxima dos mesmos está prevista para ocorrer nos próximos oito anos. Além disso, diversos quarteirões já extrapolaram os índices de impermeabilização máxima prevista na Lei. Neste contexto, é necessária a implantação de outras medidas compensatórias, tais como as propostas listadas em Fendrich (2002). Este Autor propõe o aumento do IPTU para proprietários de lotes que não obedecem aos parâmetros de permeabilidade previstos distribuída na Lei nº 9.800/2000 e a exigência da implantação de um sistema de retenção de águas pluviais pela utilização de micro reservatórios.

É de extrema necessidade o controle do aumento da impermeabilização, por força de instrumentos legais, através de condições adequadas de fiscalização, assim como a utilização de mecanismos para que a vazão gerada possa ter menor impacto sobre as demais áreas da cidade, com ações urgentes por parte do Poder Público.

A expansão urbana está acontecendo em diversas cidades do Brasil e diversos países do Mundo. Devido à falta de uma fiscalização e de leis eficazes na gestão de planos urbanos, percebe-se que está havendo a diminuição demasiada das áreas permeáveis dos solos. A manutenção das áreas permeáveis é essencial para manter a qualidade de vida nas cidades, tornando equilibrada a relação do ambiente natural e o construído, em busca de um desenvolvimento mais sustentável.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com os resultados obtidos, com destaque para TABELAS 4.3 (p. 80) e 4.4 (p. 85), a sistematização dos mesmos está elencada nos seguintes tópicos:

- a) Não coincidência do mapa de zoneamento com o das taxas de permeabilidade do solo:** A taxa de permeabilidade de 25% estipulada na lei de zoneamento de Curitiba deveria ser dividida pelas principais litologias dos solos no município de Curitiba e não por zonas. Na Bacia Hidrográfica do Rio Belém, o Complexo Cristalino (FIGURA 4.6, p. 68), tem maior capacidade de infiltração das águas pluviais. A taxa de permeabilidade estipulada na Lei nº 9.800/2000 (25%) para esta área poderia ser menor que nas demais áreas. O mapa da taxa de permeabilidade não deveria ser coincidente com o zoneamento. Portanto, esta taxa de permeabilidade dos solos deveria ser revisada tecnicamente;
- b) Situação de impermeabilização máxima dos solos indicando a urgência de medidas de controle e gestão:** Análises apresentadas para o bairro Centro Cívico demonstraram que em 2020 a ocupação do solo nos lotes chegará a taxa de impermeabilização máxima, considerando a taxa de permeabilidade de 25%, conforme a Lei nº 9.800/2000. Em 2007, 62,11% da área dos lotes do bairro Centro Cívico encontravam-se impermeabilizados. Com os valores de porcentagem obtidos, verificou-se que 11 dos 36 quarteirões analisados, extrapolaram os 25% de área mínima permeável estipulada pela Lei nº 9.800/2000. Os lotes dos 11 quarteirões assinalados estavam com média de 82,86% de sua área impermeabilizada. Esses lotes representam 18% de todos os lotes do bairro. No total, 15% de todos os lotes do bairro já ultrapassaram a impermeabilização máxima de 75% (TABELA 4.3, p. 80). Faltam apenas oito anos para que a impermeabilização máxima dos lotes seja atingida, com isso as áreas verdes que compõe o bairro estarão prejudicadas pelo avanço das superfícies impermeáveis se nenhuma medida de fiscalização mais efetiva for implantada.

Restam apenas 13% para o bairro Centro Cívico atingir a impermeabilização máxima (75%) dos solos. Se esta análise fosse realizada

em outros bairros de Curitiba poderiam ser encontradas condições semelhantes ou até piores, como os constatados por Centeno *et al.* (2001) para o bairro Guabirotuba em Curitiba. A análise feita pelos autores apontou que dos 24 lotes avaliados, haviam 14 lotes nos quais tais limites não eram respeitados. É possível que outros bairros já tenham ultrapassado este índice de 75%. Sabe-se que as diferenças entre os índices de impermeabilização dos bairros, seguindo a linha de Yoshikoshi *et al.* (2008), são em virtude, entre outros fatores, das diferenças no tamanho das estruturas urbanas e diferentes estágios de urbanização que promovem condições distintas nesses ambientes.

Ao analisar os resultados por outro panorama, em 2003, em uma área residencial localizada em Boulder (E.U.A), Lee e Heany demonstraram que do total de área impermeável do recorte de estudo, 73% do escoamento superficial era contribuição da área impermeável diretamente conectada (ruas pavimentadas e estacionamentos). Então, supõe-se que o restante do recorte sejam os lotes e as calçadas. Considerando esta pesquisa, o escoamento superficial gerado pelos lotes do bairro Centro Cívico é somente uma parcela da ponta do “iceberg”, nas enchentes urbanas críticas na bacia hidrográfica do Rio Belém;

c) O aumento da vazão superficial está vinculado ao aumento do escoamento superficial e ao aumento da probabilidade de enchentes:

Os estudos realizados no bairro Centro Cívico demonstraram que as taxas de área impermeável dos solos, assim como os índices das vazões apresentaram um incremento positivo entre 1988 e 2020, quando a taxa de impermeabilização dos solos será máxima. Este incremento altera o volume do escoamento superficial e pode promover o desencadeamento de enchentes nos vales receptores a jusante, principalmente no Centro da cidade de Curitiba. Há convergência de toda descarga hídrica, da área de drenagem principal do bairro Centro Cívico e de outros bairros de montante, para o Centro através do Rio Belém. O bairro do Centro Cívico é uma área urbana densa e contribui para agravar a situação do Centro.

O contexto urbano faz parte de uma rede interligada, devendo haver um equilíbrio entre as áreas permeáveis e impermeáveis em todos os 75

bairros da cidade de Curitiba. As condições de impermeabilização dos solos do bairro Centro Cívico contribuem para o aumento do escoamento superficial do bairro Centro, localizado imediatamente a jusante (FIGURA 4.9, p. 72);

d) Medidas mitigadoras para uma ocupação consolidada: Ajustes devem ser realizados na Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo de Curitiba (Lei nº 9.800/2000). A regulamentação que define o tipo de pavimentação permeável permitida para o município é a Portaria nº 24/2002. Esta portaria trata de orientações para elaboração de projetos de edificações. Sendo assim, não há uma regulamentação específica determinando que a área, que deve ser mantida permeável, seja somente o revestimento natural do terreno (ex. área verde, solo exposto, entre outros). O pedrisco, por exemplo, é permeável, mas é uma solução artificial. Uma atualização deveria ser realizada para que em usos residenciais, a taxa de permeabilidade seja obrigatoriamente a conservação de áreas naturais do terreno. Em casos especiais, mediante o tipo de solo e seu uso, deverá ser encaminhado um pedido à Prefeitura Municipal de Curitiba para verificar a possibilidade de liberação para outros tipos de pavimentos permeáveis, nas áreas de permeabilidade 25%. Com isso, é possível aliar a permeabilidade à condição ambiental e ao incentivo a cobertura verde. Isto auxilia na qualidade da água do escoamento superficial, que segundo Schueler (1994), começa a degradar quando mais que 10% da área de uma sub-bacia é impermeabilizada.

Essa discussão é apresentada em virtude das previsões de impermeabilização máxima dos solos feita neste trabalho e da previsão feita por Fendrich em (2002). A previsão feita pelo Autor demonstrou que tanto o bairro Centro Cívico, como os demais bairros da Bacia Hidrográfica do Rio do Belém, chegarão as suas taxas de impermeabilização máxima por volta do ano de 2020. Isto exigirá a detenção distribuída das águas pluviais nas impermeabilizações já existentes, em virtude da grande diminuição das áreas permeáveis dos solos.

- e) Incentivo à impermeabilização dos lotes em taxas de 100%:** O caso em que a taxa de permeabilidade pode ser substituída por um reservatório, demonstra um incentivo a impermeabilização dos solos dos lotes em até 100%. Consta no Decreto Municipal nº 293/2006, em todos os casos, deverá ser utilizado um reservatório de águas pluviais de no mínimo 500 litros. Isto demonstra uma das incoerências deste Decreto, aliando-o a Lei nº 9.800/2000, pois a taxa de impermeabilização dos solos será atingida em menor espaço de tempo, além de se exigir a detenção das águas pluviais somente para impermeabilizações futuras. Sendo assim, o Decreto-Lei Municipal nº 176/2007 ficará sem efetividade legal, pois há a existência de um reservatório de detenção das águas pluviais, previsto pelo Decreto-Lei nº 293/2006;
- f) Incoerências na fórmula base da legislação:** As avaliações das vazões superficiais associadas à impermeabilização dos solos permitem analisar o impacto quantitativo das ações antrópicas sobre a bacia hidrográfica, em decorrência da urbanização. Além disso, as análises das vazões contribuem para a gestão de mecanismos de contenção de cheias, os quais têm a função de minimizar os níveis de água das vazões máximas, iniciando o controle de enchentes urbanas. Utilizando o mesmo tipo de solução compensatória, proposta por Fendrich (2002), o problema de controle das enchentes urbanas deve ser resolvido na fonte (detenção distribuída), ou seja, onde foi gerado. Não se deve deixar que o escoamento superficial seja direcionado para vales receptores situados a jusante, isto é, ampliar o volume das águas pluviais para as populações localizadas nestes locais. Um dos mecanismos de contenção de cheias é o reservatório de águas pluviais proposto pelo Decreto-Lei nº 176/2007. Porém, segundo Fendrich (2010), a fórmula (Equação 4.1, p. 60) para o cálculo do reservatório de detenção apresenta incoerências. O resultado da mesma não é volume, e sim vazão (ex. $V_{\text{DECRETO-LEI Nº 176/2007}} = \text{m}^3/\text{h} = Q$). Além disso, o decreto não fornece o tempo de duração da chuva crítica, para o adequado dimensionamento da capacidade do reservatório.

Estes resultados apresentaram a necessidade de controle da tendência de aumento da impermeabilização, através de condições adequadas de

fiscalização, assim como a utilização de mecanismos para que a vazão gerada possa ter menor impacto sobre as demais áreas da cidade. Com isso, é necessária a implantação de outras medidas compensatórias, já propostas, tais como o aumento progressivo do IPTU para proprietários de lotes que não obedecerem aos parâmetros de permeabilidade previstos na Lei nº 9.800/2000. Além disso, a exigência da implantação de um sistema de retenção distribuída das águas pluviais. Se, no ano subsequente, o proprietário ainda não tiver implantado o sistema de retenção de cheias, este deverá ser notificado e penalizado com acréscimo substancial no IPTU, para que o sistema seja implantado, e não fique apenas como instrumento arrecadador do tesouro municipal.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como demonstraram os estudos apresentados nesta dissertação, não é mais possível reverter a impermeabilização decorrente da ocupação urbana no bairro Centro Cívico e também de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Belém.

Esta dissertação é um instrumento que auxilia a repensar a postura do Poder Público com relação à fiscalização e, dos construtores e dos próprios proprietários dos lotes, da responsabilidade em obedecer aos parâmetros previstos na Lei de Curitiba nº 9.800/2000, e a necessidade da ecoformação de todos os atores envolvidos, para que a Cidade evolua de maneira saudável e com qualidade de vida para seus habitantes. Como apresentado em algumas diretrizes da lei de zoneamento do Município, esta lei tem como objetivo a preservação da escala da cidade e de seus valores naturais, culturais e paisagísticos, bem como a participação da comunidade na gestão urbana.

A conscientização dos cidadãos em evitar pavimentar seus lotes, e, principalmente, respeitar as restrições impostas na Lei nº 9.800/2000, deve ser uma prioridade para o bom funcionamento do ambiente natural com o ambiente construído.

A taxa de permeabilidade dos lotes pode ser classificada como uma ferramenta na gestão do meio urbano. É uma medida de controle, ou seja, mitigação da impermeabilização dos solos, quando implantada rigorosamente. O ambiente natural, como as áreas verdes, por exemplo, são de extrema importância para o equilíbrio do ciclo hidrológico e a manutenção do meio urbano. De acordo com a Prefeitura Municipal de Curitiba, a proporção de área verde por habitante, que era de 51,5m² em 2000, aumentou para 64,5m² em 2011 (PMC, 2011). Este último valor é duvidoso ao considerar os incrementos positivos nos índices de áreas impermeáveis, tendo como base os dados estudados por Fendrich (2002), para a Bacia Hidrográfica do Rio Belém, assim como os resultados obtidos nesta dissertação, para o bairro Centro Cívico.

As áreas permeáveis que ainda restam devem ser preservadas, dentro do possível, e a ocupação deve seguir de forma controlada e consciente pelos proprietários e pelo Poder Público Municipal.

Todo o controle de vazão realizado, considerando o lote, é favorável na busca do menor impacto. A utilização de reservatórios de retenção distribuída pode ser uma das alternativas encontradas na tentativa de mitigar as enchentes urbanas. A administração pública municipal deve utilizar todas as possibilidades de incentivo e fiscalização para que este mecanismo também seja implantado em edificações existentes.

As taxas de permeabilidade deveriam ter um estudo mais aprofundado para que esta medida possa ser mais eficaz no controle do escoamento superficial. Além disso, a tendência de aumento da impermeabilização dos solos deve ser controlada por meio de leis mais rígidas e fiscalização efetiva. A cidade é um produto da sociedade, seus valores e ações. Ela pode existir e ser ambientalmente correta, assim, este estudo pretende contribuir para alertar e repensar a organização e reorganização da ocupação dos espaços urbanos.

Os métodos adotados neste trabalho podem aprimorar as análises de áreas permeáveis e impermeáveis das cidades, quando comparados ao Método da Densidade Habitacional. O método da Classificação Supervisionada de Máxima Verossimilhança demonstra, através de imagens geoprocessadas, resultados mais próximos a realidade, sendo a leitura de uma ortofoto ou imagem de satélite da área analisada. O Método Racional, apesar de se limitar a áreas pequenas, é um método que tem menos chances de erros. Além disso, este método considera a área impermeável como base para as análises, o que é facilmente adquirido por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta dissertação não se esgota ao tema proposto, procurando apenas iniciar uma investigação sobre a impermeabilização do solo urbano. Assim, a sugestão para que outros estudos sejam realizados, a fim de complementarem os resultados obtidos nesse trabalho, estão abaixo relacionados:

- 1 – Analisar as condições de impermeabilização dos lotes dos demais bairros de Curitiba;

- 2 – Revisar tecnicamente as taxas de permeabilidade dos solos previstas na legislação municipal de Curitiba;
- 3 – Desenvolver estratégias para a implantação de uma medida compensatória, através do aumento progressivo do IPTU, caso o proprietário não implante reservatório de retenção distribuída das águas pluviais, se ultrapassar a taxa de impermeabilização máxima do lote.

REFERÊNCIAS

- ARAKI, H; WALTER, J; SILVA, F. Classificação de áreas permeáveis e impermeáveis, 2011. *In: Avaliação das condições de impermeabilização urbana: Estudo de caso no bairro Centro Cívico – Curitiba – Paraná. Dissertação de mestrado – Universidade de Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR, 2012.*
- ARAÚJO, P.R; TUCCI, C.E.M; GOLDENFUM, J.A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, jul./set. 2000.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT. Disponível em: < <http://australia.gov.au/>>. Acesso em 27/02/2011.
- BENEVOLO, L. **História da arquitetura moderna**. São Paulo: Perspectiva, 2007.
- BRASIL. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em: < <http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/saneamento-ambiental/biblioteca/pesquisa-nacional-de-saneamento-basico>>. Acesso em 10/02/2011.
- BRISBANE CITY COUNCIL WEB SITE. **FloodWise Property Report**. Disponível em: < <http://www.brisbane.qld.gov.au/>>. Acesso em 27/01/2011.
- CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Disponível em: < http://www.waterboards.ca.gov/sanfranciscobay/water_issues/programs/>. Acesso em 17/04/2011.
- CAMPANA, N. A; TUCCI, C.E.M. Estimativa de áreas impermeáveis de macro-bacias urbanas. **Caderno de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.12, n. 2, p. 79-93, dez. 1994.
- CANHOLI, A. P. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. Oficina de Textos, 2005, 302 p.
- CARVALHO, S. N. Condicionantes e Possibilidades Políticas do Planejamento Urbano. *In: Qualidade de vida, planejamento e gestão urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 21-67, 2009.
- CENTENO, J. A. S. *et al.* Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 55, p. 48-56, 2001.
- CHARLES RIVER WATERSHED ASSOCIATION DE MASSACHUSETTS. Stormwater planter. NSCU. **Low Impact Best Management Practice (BMP) Information Sheet**. E.U.A, 2008
- CHRISTOUDIAS, C. M; GEORGESCU, B; MEER, P. Synergism in Low Level Vision. *In International Conference on Pattern Recognition*, 4, p. 150-155, 2002.
- COMPANHIA CATARINESE DE ÁGUAS E SANEAMENTO. **Saúde Pública**. Santa Catarina, 2005. Disponível em: <<http://www.casan.com.br/index.php?sys=1341>>. Acesso em 14/10/2010.
- COMPANS, R. O paradigma das *global cities* nas estratégias de desenvolvimento local. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Recife: Associação

Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, A2, p. 91-113, 1999.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC). Mapa da Região Metropolitana de Curitiba, 2009.

CRUZ, C; RIBEIRO, U. **Metodologia científica: teoria e prática**. São Paulo: Axcel, 2003, 219 p.

CRUZ, M. A. S; TUCCI, C. E. M; SILVEIRA, A. L. L. Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p. 19-31, out./dez. 1998.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Decreto n. 176, de 29 de março de 2007. Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias. Disponível em: < http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/form_vig.pl>. Acesso em: 14/10/2010.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Decreto n. 293, de 22 de março de 2006. Regulamenta a lei nº 10.785/03 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 29/04/2011.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Decreto nº 212/2007. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/form_vig.pl>. Acesso em: 17/08/2011.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Decreto nº 301/1996. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/form_vig.pl>. Acesso em: 17/08/2011.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Decreto nº 562/1996. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/form_vig.pl>. Acesso em: 17/08/2011.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Decreto nº 701/1976. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/form_vig.pl>. Acesso em: 17/08/2011.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Decreto nº 971/1995. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/form_vig.pl>. Acesso em: 17/08/2011.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Lei n. 9.800, de 03 de janeiro de 2000. Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/publico/secretaria.aspx?id=58&servico=37>>. Acesso em: 18/05/2010.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. Portaria SMU n. 24 de 2002. Orientação para elaboração de projetos de edificações. Disponível em: < <http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/legislacao-smu-smu-secretaria-municipal-do-urbanismo/211>>. Acesso em: 16/05/2011.

CUYAHOGA SOIL AND WATER CONSERVATION DISTRICT. Rain Gardens. CBF. Disponível em: <<http://www.cuyahogaswcd.org/grantfunded-raingardens.htm1>>. Acesso em: 17/04/2011.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL RESOURCES PRINCE GEORGE.S COUNTY MARYLAND. L. Low-impact development hydrologic analysis. 1999, 45p.

EMBRAPA. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 18/04/2011.

ESTEIO. Disponível em: < <http://www.esteio.com.br/>>. Acesso em 18/03/2011.

FENDRICH, R. 2002. Coleta, Armazenamento, Utilização e Infiltração das Águas Pluviais na Drenagem Urbana. Tese (Doutorado – Pós Graduação em Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba – PR. 499p.

FENDRICH, R. **Canais de drenagem em pequenas bacias hidrográficas**. Curitiba: Roberto Fendrich, 2008. 121 p.

FENDRICH, R. **Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Roberto Fendrich, 2003. 101 p.

FENDRICH, R. **Detenção distribuída das águas pluviais para controle de enchentes urbanas no estado do Paraná – Fase II**. Curitiba: Roberto Fendrich, p. 179-180, 215p, set. 2010.

FENDRICH, R. **Manual de Utilização das Águas Pluviais (100 Maneiras Práticas)**. 2. ed. Curitiba: Roberto Fendrich, 2009, 190 p.

FENIANOS, E. E; JUNG, M. **Centro Cívico: um bairro e três poderes**. Curitiba: Univercidade, 1998. 51 p.

FURTINI, M. B; FERREIRA, E; SAMPAIO, F. M. T. Evolução urbana na caracterização das superfícies impermeáveis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIV., 25-30 abril, 2009, Natal. **Anais...Natal**: INPE, 2009, p. 691-698.

GEISSLER, H. J; LOCH, R.E.N. Análise histórica das enchentes em Curitiba/PR: medidas propostas e conseqüências observadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...Florianópolis**: GEDN/UFSC, 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar um projeto de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GIUSTI, A. D. 1989. Contribuição a geologia ambiental no município de Curitiba – PR. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP.

GONÇALVES, M; POLIDORO, M; SILVA, D . F. **Análise dos índices de impermeabilização do solo utilizando geoprocessamento: proposta de atualização do decreto nº. 402/1980 para projetos de drenagem no município de Londrina-PR**. Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, Brasil, p. 569-576, dez. 2009.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Normas de Edificação, Uso e Gabarito, NgB-37/99**. Distrito Federal, 1999. Disponível em: <http://www.bandeirante.df.gov.br/005/00502001.asp?ttCD_CHAVE=56744>. Acesso em 14/10/2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: < http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php?uf=00>. Acesso em 16/05/2011.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. Curitiba em dados: Mapas temáticos. Disponível em: < http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.asp>. Acesso em: 16/05/2011.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. Plano Diretor 2004: o planejamento urbano de Curitiba. Curitiba: IPPUC, 2004.

IPPUC. INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. Disponível em: <
http://www.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/anexos/2004_Plano%20Diretor%20de%20Curitiba_ANEXO-A2-DENSIDADES%20DE%20OCUPA%C3%87%C3%83O-05.jpg>. Acesso em: 16/05/2011.

LEE, J; HEANEY, J.P. Urban imperviousness and its impacts on stormwater systems. **Journal. of Water Resources Planning and Management**, E.U.A. v. 129, n. 5, p. 419-426, 2003.

LIMA, C. de A. **A ocupação de áreas de mananciais na Região Metropolitana de Curitiba: do planejamento à gestão urbana-metropolitana**. 398 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

MARTINS, S. O urbanismo, esse (des)conhecido saber político. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Recife: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, A2, n. 03, p. 39-59, 2000.

MAUS, V.W; RIGHES, A.A; BURIOL, G.A. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE, Cuiabá, 2007.

MINEROPAR. Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná. Curitiba, 2001.

MINEROPAR. Embasamento Cristalino. Disponível em: <
<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2>>. Acesso em 10/03/2012

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Ministros e governadores definem medidas para reconstruir cidades atingidas por enchentes. **Assessoria de Comunicação do Ministério das Cidades**, 09, julho, 2010. 2 p. Disponível em: <
http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=34&Itemid=61&limitstart=156>. Acesso em: 16/07/2010.

MORETTI, R. de S; NISHIHATA, N. M. Estacionamento-parque: qualificação paisagística. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 116, 2006.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION'S (NOAA). National Weather Service. Disponível em: < <http://water.weather.gov/ahps/>>. Acesso em: 15/02/2012.

NEUFERT, Ernest. **Arte de projetar em arquitetura**. 17. ed. São Paulo: Gustavo Gilli, 2004. 618p.

OLIVEIRA, D. **Curitiba e o mito da cidade modelo**. Curitiba: Ed. Da UFPR, 2000.

PINTO N. S; HOLTZ A.C. T; MARTINS J.A. Hidrologia de superfície. São Paulo: Edgar Blucher, São Paulo, 180 p, 1973.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 15-24, jan./mar. 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE COLOMBO. Instrução nº 03/2009. Taxa de permeabilidade. Colombo, 2009, 2 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Consulta de guia amarela. Disponível em: < http://www5.curitiba.pr.gov.br/gtm/gam/gam_form.asp>. Acesso em: 16/05/2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Curitiba tem nova lei de zoneamento e uso do solo. **Secretaria da Comunicação Social**, Curitiba, 07.12.1999. 4 p. Disponível em: < <http://www.curitiba.pr.gov.br>>. Acesso em 16/11/2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Maciços florestais: novo mapa revela aumento de áreas permeáveis na cidade. nov. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Plano de Mobilidade e Transporte Integrado de Curitiba, delimitação do NUC. mar. 2008. 54p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/portalmmsp/homec.jsp>>. Acesso em: 16/05/2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Portaria nº 156/2009.

PURDUE RESEARCH FOUNDATION. MultiSpec. Disponível em: < <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>>. Acesso em: 12/03/2012.

RIBEIRO, R.A. **Forma urbana e tipo de uso do solo como fatores determinantes para a geração de áreas urbanas impermeáveis**. 186 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Departamento de urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ROBSON, C. **Real World Research**. 2. ed. Oxford: Blackwell, 2002.

RUANO, M. **Ecourbanismo. Entornos humanos sostenibles: 60 proyectos**. Barcelona: Gustavo Gili, 2007.

RUTGERS UNIVERSITY. *Edge Detection and Image Segmentation*. Disponível em: < <http://coewww.rutgers.edu/riul/research/code/EDISON/doc/help.html>>. Acesso em: 12/03/2012.

SCHMID, A. L.; TAVARES, S. F. **Métodos de Pesquisa**. Notas de Aula, 2010.

SCHUELER, T. R. The importance of imperviousness. **Watershed Protect. Techn**, 100–111, 1994.

SECCHI, B. **A cidade do século vinte**. São Paulo: Perspectiva, 2009. 294 p.

SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. Manual de desastres naturais. Brasília, v. 1, 2003. 174p.

SERVIÇO SOCIAL AUTÔNOMO PARANACIDADE. Disponível em: < <http://www.paranacidade.org.br/municipios/municipios.php>>. Acesso em: 16/05/2011.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, ABRH. p. 35-40, 2009.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. Infiltração e armazenamento no solo. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, ABRH. p. 335-365, 2009.

STEVANUX, J.C.; LATRUBESSE, E.M.; HERMANN, M.L.P.; AQUINO, S. Floods in urban áreas of Brazil. In **Latrubesse, E.M. (Ed.) Natural hazards and human**

exacerbated disasters in Latin America, Development in Earth Science Processes, Elsevier, v. 13, p. 245-266, 2010.

SUDERHSA. Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu, 2002.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 61-68, jan./mar. 2000.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, ABRH. p. 621-652, 2009.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, ABRH. p. 391-437, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, ABRH, 2009.

TUCCI, C. E. M; ORSINI, L. F. Águas urbanas no Brasil: Cenário atual e desenvolvimento sustentável. In: **Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas**. p. 7-21, Ministério das Cidades, Brasília. 2005.

TUCCI, C. E.M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, jan./mar. 2008.

TUNDISI, J. G; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos Hídricos no Século XXI**. São Paulo; Oficina de Textos, 2011, 328 p.

U.S. DEPARTMENT OF HOMELAND SECURITY (FEMA). Disponível em: <http://www.fema.gov/>> Acesso em 05/03/2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Field Evaluation of Permeable Pavements for Stormwater Management. **Low-impact Development Center**. Washington, out 2005.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Green Roofs for Stormwater Runoff Control**. National Risk Management Research Laboratory - Water Supply and Water Resources Division. Cincinnati, 2009, 81p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Urbanization and Streams: Studies of Hydrologic Impacts. Disponível em: <http://water.epa.gov/polwaste/nps/urban/report.cfm>>. Acesso em: 04/05/2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para apresentação de documentos científicos**. 2. ed. Curitiba: ed. da UFPR, 2007.

VALDUGA, R. Coordenadora do grupo que deu origem a Lei nº 9.800/2000 em entrevista concedida a Autora, em Dezembro de 2010.

WILKEN, P. S. Engenharia de Drenagem Superficial. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978, 478p.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YOSHIKOSHI, A.; ADACHI, I.; TANIGUCHI, T.; KAGAWA, Y.; KATO, M.; YAMASHITA, A.; TODOKORO, T; TANIGUCHI, M. Hydro-environmental changes and their influence on the subsurface environment in the context of urban development. **Science of the total environment**, 407 :3105-3111, abr. 2009.

GLOSSÁRIO

DISTORÇÕES DEVIDAS AO RELEVO: é quando a imagem fica distorcida por causa do relevo, pois as fotos são tiradas de aeronave e não, necessariamente, ficam a 90° da região de interesse.

MÁXIMA VEROSIMILHANÇA: é um método de classificação de imagens digitais. Este método utiliza conceitos de probabilidade e estatística para definir a qual classe cada *pixel* tem maior probabilidade de pertencer. A classificação é dita supervisionada, pois o usuário define quais as classes que deverão constar no mapa temático final. Para isso, ao definir as classes desejadas, o usuário também define amostras de cada uma destas classes,

MÉDIAS ESPECTRAIS: é quando os *pixels* que possuem o mesmo tipo de amostra se unem formando uma nova amostra. As médias espectrais são resultantes de cálculos estatísticos que definem se o *pixel* tem mais probabilidade de pertencer a esta ou aquela classe.

MOSAICADAS: quando várias partes de uma imagem são unidas e formam uma única imagem.

ORTORRETIFICADAS: é quando a imagem passa por processo de correção geométrica visando minimizar as distorções devidas ao relevo.

REGIÃO OCLUSA: são regiões onde não há informação na cobertura do solo. Isto ocorre em regiões localizadas atrás de prédios, sendo proporcionalmente maior conforme a maior altura do prédio ou a menor altitude de vôo na tomada das fotografias aéreas.

SEGMENTAÇÃO *MEAN-SHIFT* DE DESLOCAMENTO DE *SOFTWARE*: é um algoritmo desenvolvido para o rastreamento de cor, possibilitando também o rastreamento de faces. É baseado numa técnica estatística onde se busca o pico entre distribuições de probabilidade em gradientes de densidade. Esta técnica é chamada de média por deslocamento (*mean shift*) e serve para tratar a mudança dinâmica das distribuições de probabilidade das cores numa sequência. Pode ser usada no rastreamento de objetos e no rastreamento de faces.

VAZÃO: é o volume de água escoado na unidade de tempo em uma determinada seção do curso de água.

ANEXOS

1. PARÂMETROS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA ZONA RESIDENCIAL 1 DA LEI Nº 9.800/2000

ZONA RESIDENCIAL 1 – ZR-1

PARÂMETROS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

USOS			OCUPAÇÃO							
PERMITIDOS	TOLERADOS	PERMISSÍVEIS	FORTE (m²)	COEFIC. APROV.	TAXA OCUP. MÁX. (%)	ALTURA MÁXIMA (PAV.)	RECULO MÍN. ALIN. PREDIAL (m)	TAXA PERMEAB. MÍN. (%)	AFAST. DAS DIVISAS (m)	LOTE MÍN. (Retângulo x Área)
- Habitação Unifamiliar (1)										
- Habitações Unifamiliares em Série (2)				1	50%	2	5m	25%	-	15x600
- Comércio e Serviço Vicinal 1 (3)			100m²	-	-	-	-	-	-	-
	- Indústria Tipo 1 (4)		100m²	-	-	-	-	-	-	-

Observações:

- (1) Uma habitação unifamiliar por lote ou fração de terreno de 600,00m².
- (2) Somente em terrenos com dimensões inferiores a 15.000,00m² e garantida fração de terreno de no mínimo 600,00m² por unidade habitacional, excluídas as áreas de uso comum.
- (3) Somente alvará de localização em edificações existentes.
- (4) Somente alvará de localização para atividade desenvolvida em imóvel de uso predominantemente habitacional.

No caso do comércio e serviço vicinal, não é permitida a construção. Somente alvará de localização em edificações existentes com no máximo 100m², isso explica o símbolo (-) colocado nos parâmetros.

2. GUIA AMARELA



PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA

Secretaria Municipal do Urbanismo

CONSULTA PARA FINS DE CONSTRUÇÃO

Inscrição Imobiliária	Sublote	Indicação Fiscal	Nº da Consulta / Ano
Bairro: CAJURU Quadricula: M-18		Rua da Cidadania: Cajuru	

Informações da SMU - Secretaria Municipal do Urbanismo

Testadas do Lote

Posição do Lote: **Esquina p/ mais de 02 testadas**

- | | |
|--|--|
| 1- Denominação: R. RORAIMA | Sistema Viário: COLETORA 1 |
| Cód. do Logradouro: S928 Tipo: Principal | Nº Predial: 142 Testada (m): 100,00 |
| Dados de Projeto de Rua (UUS-5.1): OBEDECER O ALINHAMENTO CONFORME O PROJETO APROVADO DA RUA | |
| 2- Denominação: R. JOÃO GUERINO FABRI | Sistema Viário: NORMAL |
| Cód. do Logradouro: S903 Tipo: Secundária | Nº Predial: 615 Testada (m): 160,00 |
| Dados de Projeto de Rua (UUS-5.1): O LOTE NÃO É ATINGIDO PELO PROJETO DA RUA | |
| 3- Denominação: R. SALVADOR | Sistema Viário: NORMAL |
| Cód. do Logradouro: S905 Tipo: Secundária | Nº Predial: 718 Testada (m): 160,00 |
| Dados de Projeto de Rua (UUS-5.1): OBEDECER O ALINHAMENTO CONFORME O PROJETO APROVADO DA RUA | |
| 4- Denominação: R. CUIABÁ | Sistema Viário: NORMAL |
| Cód. do Logradouro: S930 Tipo: Secundária | Nº Predial: 107 Testada (m): 100,00 |
| Dados de Projeto de Rua (UUS-5.1): OBEDECER O ALINHAMENTO CONFORME O PROJETO APROVADO DA RUA | |

Cone da Aeronáutica: 985,00m em relação a Referência de Nível (RN) Oficial

Parâmetros da Lei de Zoneamento

Zoneamento: **ZR3.ZONA RESIDENCIAL 3**

Sistema Viário: **COLETORA 1/NORMAL/NORMAL/NORMAL**

* Em caso de dúvidas ou divergências nas informações impressas, vale a Legislação Vigente.

Classificação dos Usos

Usos Permitidos Habitacionais

HABITAÇÃO COLETIVA.
HABITAÇÃO TRANSITÓRIA 1 E 2.
HABITAÇÃO INSTITUCIONAL.
TOLERADO HABITAÇÃO UNIFAMILIAR E HABITAÇÕES UNIFAMILIARES EM SÉRIE ATENDIDA A DENSIDADE MÁXIMA.
PARA MAIS DE 20 HABITAÇÕES UNIFAMILIARES EM SÉRIE OU MAIS DE DOIS BLOCOS DE HABITAÇÃO COLETIVA NO LOTE, CONSULTAR O IPPUC.

Usos Permitidos Comerciais

COMÉRCIO E SERVIÇO VICINAL, DE BAIRRO E SETORIAL COM ÁREA MÁXIMA CONSTRUÍDA DE 400,00 M2.
COMUNITÁRIO 1 E 2, SUPERMERCADO E CENTRO COMERCIAL COM ÁREA MÁXIMA CONSTRUÍDA DE 2000,00 M2.
COMÉRCIO E SERVIÇO ESPECÍFICO 1, ATENDIDA A LEGISLAÇÃO ESPECÍFICA .
(OBS. 2).

Usos Tolerados

.....





PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA

Secretaria Municipal do Urbanismo

CONSULTA PARA FINS DE CONSTRUÇÃO

Inscrição Imobiliária	Sublote	Indicação Fiscal	Nº da Consulta / Ano
-----------------------	---------	------------------	----------------------

Usos Permissíveis

COMÉRCIO E SERVIÇO VICINAL, DE BAIRRO E SETORIAL COM ÁREA MÁXIMA CONSTRUÍDA DE 2000,00 M2.
COMUNITÁRIO 1, 2 E 3, SUPERMERCADO E CENTRO COMERCIAL COM ÁREA MÁXIMA CONSTRUÍDA DE 5000,00 M2.
INDÚSTRIA TIPO 1 COM ÁREA MÁXIMA CONSTRUÍDA DE 400,00 M2.
(OBSERVAÇÃO 2).

** Os parâmetros de construção para os Usos Permissíveis, serão definidos pelo Conselho Municipal de Urbanismo.

Usos Proibidos

.....

Parâmetros da Construção

Coefficiente de Aproveitamento

1,0.

Taxa de Ocupação

50%.

Taxa de Permeabilidade

25%.

Densidade máxima

80 HABITAÇÕES /HA, PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES E HABITAÇÕES UNIFAMILIARES EM SÉRIE, SENDO ADMITIDO 3 HABITAÇÕES EM LOTES DE 360,00 M2.

Altura Máxima

03 PAVIMENTOS.
ATENDIDO LIMITE DA ANATEL E AERONAUTICA.

Recuo Frontal

5,00 M.
10,00 M PARA OS USOS COMUNITÁRIOS.

Afastamento das Divisas

FACULTADO ATÉ 02 PAVIMENTOS.
PARA O TERCEIRO PAVIMENTO MÍNIMO DE 2,00 M.
2,50 M PARA HABITAÇÃO INSTITUCIONAL.

Estacionamento

OBEDECER O CONTIDO NO DECRETO 582/90.

Recreação

OBEDECER O CONTIDO NO DECRETO 212/07.

Observações Para Construção

- 1 - Profundidade máxima da faixa da Via Coletora 1 de até a metade da quadra e limitados em 60m (sessenta metros) contados a partir do alinhamento predial.
- 2 - Independente do porte estabelecido para as atividades comunitárias, comerciais, de prestação de serviços e industriais, deverá ser respeitado o coeficiente 1.
- 3 - Observar o contido na lei 9803/2000 e decreto 488/2001 que dispõe sobre a transferência de potencial construtivo.
- 4 - Em caso de aquisição de potencial construtivo de acordo com a lei 9802/2000 e decreto 196/2000, poderão ser concedidos os seguintes parâmetros máximos :
 - Usos : Habitação coletiva e habitação transitória 1.
 - Coeficiente de aproveitamento : 1,8.
 - Altura máxima : 6 pavimentos.
 - Afastamento de divisas : até 2 pavimentos facultado.
- Demais pavimentos H/6 atendido mínimo de 2,50 m.
- Atender demais parâmetros desta consulta amarela.
- 5 - O licenciamento das atividades comerciais, de prestação de serviços e comunitárias com porte superior a 5000,00 m² dependerá da elaboração de Relatório Ambiental Prévio - RAP, nas condições estabelecidas no decreto 838/97.



	PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA		
	Secretaria Municipal do Urbanismo		

CONSULTA PARA FINS DE CONSTRUÇÃO

Inscrição Imobiliária	Sublote	Indicação Fiscal	Nº da Consulta / Ano
-----------------------	---------	------------------	----------------------

Informações Complementares

Código 35 Observações
CERTIDAO DE CONCESSAO DE AU MENTO DE POTENCIAL CONSTRU- TIVO-SOLO CRIADO / N 656 / PROCESSO 43967/2000

Bloqueios

Alvarás de Construção

Sublote: 0
 Número Antigo: 052319B Número Novo:82733
 Número Antigo: 073447A Número Novo:109245
 Número Antigo: 118891A Número Novo:154588

Informações de Plantas de Loteamentos (UCT 6)

Sublote Situação de Foro Nº Documento Foro
 0074

Dados Sobre Planta de Loteamento

Planta/Croqui	Nº Quadra	Nº Lote	Protocolo
A.00022-	40		01-003565/2002

Nome da Planta: PLANTA CAJURU
 Situação: Lote dentro do perímetro de Planta/Croquis aprovada

Informações do IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba

Informações da SMOP - Secretaria Municipal de Obras Públicas**Faixa não Edificável de Drenagem**

Situação	Faixa	Sujeito à Inundação	Diâmetro da Tubulação	Água Corrente
Lote não Atingido		NÃO		NÃO

Características: A P.M.C. se isenta da falta de informações.

Informações da SMMA - Secretaria Municipal do Meio Ambiente

** Existindo árvores no imóvel é obrigatória a consulta à MAPM.**





PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA

Secretaria Municipal do Urbanismo

CONSULTA PARA FINS DE CONSTRUÇÃO

Inscrição Imobiliária	Sublote	Indicação Fiscal	Nº da Consulta / Ano
-----------------------	---------	------------------	----------------------

Informações da SMF - Secretaria Municipal de Finanças

Espécie: Condomínio Vertical

Área do Terreno: 16.000,00 m²

Área Total Construída: 16.961,12 m²

Qtde. de Sublotes: 256

Dados dos Sublotes

Sublote Utilização	Ano Construção	Área Construída
0074 Residencial	2002	76,60 m²

Infraestrutura Básica

Cód. Logradouro	Planta Pavimentação	Esgoto	Iluminação Pública	Coleta de Lixo
S903	A SEM BENEFICIAMENTO	NAO EXISTE	Sim	Sim
S905	C ANTI-PO	NAO EXISTE	Sim	Sim
S928	D ANTI-PO	NAO EXISTE	Sim	Sim
S930	B SEM BENEFICIAMENTO	NAO EXISTE	Sim	Sim

Bacia(s) Hidrográfica(s)

BACIA ATUBA

Principal

Observações Gerais

- 1 - Considerando a necessidade de adequar e organizar os espaços destinados a circulação de pedestres, a construção ou reconstrução de passeios deverá obedecer os padrões definidos pelo Decreto 1.066/2006
- 2 - A altura da edificação deverá obedecer as restrições do Ministério da Aeronáutica, referentes ao plano da zona de proteção dos aeródromos e as restrições da Agência Nacional de Telecomunicações - Anatel, referentes ao plano de canais de microondas de telecomunicações do Paraná.
- 3 - Todo o esgotamento sanitário (banheiro, lavanderias e cozinhas) deverá obrigatoriamente ser conectado a rede coletora de esgoto existente na via pública. No caso de cozinhas deverá ser prevista a caixa de gordura antes da referida rede.
- 4 - Na ausência de rede coletora será tolerada a utilização de sistema de tratamento composto por fossas, filtros e sumidouros (ver Termo de Referência no site da PMC www.curitiba.pr.gov.br) prevendo-se futura ligação com a rede coletora de esgoto.
- 5 - As águas pluviais devem ser direcionadas obrigatoriamente a galeria de água pluvial existente na via pública.
- 6 - Para qualquer tipo de construção, reforma ou ampliação, consultar a Sanepar quanto a ligação domiciliar de esgoto.

*** Prazo de validade da consulta - 180 dias ***

Responsável pela Emissão CONSULTA IMPRESSA VIA INTERNET	Data 06/03/2012
--	--------------------

ATENÇÃO

- » Formulário informativo para elaboração de projeto. Não dá direito a construir.
- » Início da obra somente após a expedição do Alvará de Construção.
- » Em caso de dúvidas ou divergência nas informações impressas valem as informações atualizadas do Lote, bem como a Legislação vigente.

